Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica

Aplicación de métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

AUTOR

Jorge Fernando ALARCÓN CORRO

ASESOR

Walter Aparicio ARÉVALO GÓMEZ

Lima, Perú

2019

Referencia bibliográfica

Alarcón, J. (2019). *Aplicación de métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac*. Tesis para optar el título de Ingeniero Geógrafo. Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID del asesor (es)	0000-0002-5738-7942
Código ORCID del autor	---
Autor DNI	47223811
Asesor DNI	09050786
Grupo de investigación	---
Financiamiento	---
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	- Cuenca del río Rímac - Coordenadas: 12.3° a 11.0° Latitud Sur 77.2° a 76.0° Longitud Oeste
Año o rango de años que la investigación abarcó	2012-2017

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el día Lunes 04 de noviembre del año 2019, siendo las 17:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Mg. JOSÉ JORGE ESPINOZA ECHE	Presidente
Dr. FRANCISCO ALEJANDRO ALCÁNTARA BOZA	Miembro
Mg. LIA ELIS CONCEPCIÓN GAMARRA	Miembro

Reunidos en Acto Académico Público de Sustentación de la TESIS titulada: **"APLICACIÓN DE MÉTODOS DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA (ICA) EN EL RÍO RÍMAC".** Presentada por el Bachiller **JORGE FERNANDO ALARCÓN CORRO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo.

Expuesta la Tesis; los miembros del Jurado plantearon al Bachiller las preguntas pertinentes, que fueron absueltas a: Satisfacción

Concluida la sustentación de Tesis, el Jurado procedió a evaluar y calificar la calidad y sustentación en secreto, cuyo calificativo fue: Aprobado, Bueno (16)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO, a Don JORGE FERNANDO ALARCÓN CORRO.

Siendo las 18:00 horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis, firmadas por el Jurado Calificador.

Ciudad Universitaria, 04 de noviembre del 2019

MG. JOSÉ JORGE ESPINOZA ECHE
PRESIDENTE

DR. FRANCISCO ALEJANDRO ALCÁNTARA BOZA
MIEMBRO

MG. LIA ELIS CONCEPCIÓN GAMARRA
MIEMBRO

MG. WALTER APARICIO ARÉVALO GÓMEZ
ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

A mi familia y mis amigos, ya que siempre estuvieron acompañándome en este largo andar, con sus enseñanzas, consejos y, sobre todo, motivación para seguir adelante frente a las adversidades.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor Mg. Walter Arévalo, por su compromiso, entrega, enseñanza y apoyo incondicional.

Al Ing. Henry Ysique, por su confianza y consideración para el desarrollo de la presente investigación.

A los catedráticos Mg. Jorge Espinoza, Dr. Alejandro Alcántara y Mg. Lia Concepción por su seguimiento y asesoría.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica, por los conocimientos que adquirí a lo largo de estos años.

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ECUACIONES

LISTA DE ANEXOS

RESUMEN

La presente investigación titulada “Aplicación de métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac” tiene como objetivo principal evaluar la confiabilidad de los métodos existentes de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac. Esto es debido a la variedad de métodos que se han elaborado a través del tiempo, puesto que el cálculo de un índice considera un número determinado de parámetros de calidad de agua, sus respectivas ponderaciones y una fórmula matemática para el cálculo final. Por este motivo, se recopilaron los principales ICA en base a diversos criterios, para posteriormente comparar sus resultados en 4 estaciones de muestreo en la cuenca baja del río Rímac y, así, proponer el método más adecuado para su aplicación.

Se eligieron 7 métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA): PE, Universal, León, Oregon, NSF, Idaho y Dinius. Los cuales fueron calculados mediante el software ICATest v1.0® y hojas de cálculo. Luego, se clasificaron los métodos seleccionados en base a 3 criterios: análisis estadístico, accesibilidad a los parámetros requeridos y evaluación de parámetros utilizados en el ICA.

Los resultados demuestran en las estaciones de muestreo en el río Rímac, los valores varían de acuerdo al método utilizado, teniendo diferentes resultados. En términos generales y prácticos, el ICA – NSF, ICA – PE, ICA – Universal fueron calificados en general como un intervalo de “bueno” a “medio”. Para el ICA – León, como “aceptable” a “levemente contaminada”. Para el ICA – Dinius como “Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua” a “no requiere tratamiento para la mayoría de los cultivos”. Y finalmente, en el caso del ICA – Idaho como “marginal” e ICA – Oregon como “muy pobre”.

Entre los 7 métodos elegidos, se propuso la inclusión del ICA – NSF como el método más adecuado para el río Rímac.

Palabras Clave: Índice de calidad de agua (ICA), contaminación del agua, calidad del agua, río Rímac.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Actualmente, cada vez es más importante medir la calidad de agua de los ríos de manera confiable; sin embargo, a lo largo de los años se han desarrollado una gran variedad de métodos, los cuales varían en función al número de parámetros de calidad de agua, sus respectivas ponderaciones y una fórmula matemática para el cálculo final.

Según Torres, Hernán & Patiño (2009), fue desarrollado en el año 1970 en Estados Unidos por la National Sanitation Foundation (NSF); para el desarrollo de dicho índice se usó la técnica de investigación Delphi; para definir los parámetros, pesos ponderados, subíndices y clasificación a ser empleados en el cálculo. Además, se evaluaron nueve parámetros: Oxígeno Disuelto, Potencial de hidrógeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Coliformes Fecales, Temperatura, Turbiedad, Sólidos Disueltos Totales y Fosfatos.

Mientras tanto, Cude (2008) menciona que el Índice de Calidad de Agua - Oregon fue desarrollado para proveer un método simple y conciso para expresar la importancia de los datos generados por la Red de Vigilancia de la Calidad del Agua de los Ríos del estado de Oregon. Cabe resaltar que este método fue modificado a partir del Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (NSF).

Así mismo, el índice de Calidad de Agua – Oregon (ICA – Oregon) evalúa ocho parámetros: Temperatura, Sólidos Totales, Fósforo Total, Potencial de

hidrógeno (pH), Oxígeno Disuelto, Amonio + Nitratos, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Coliformes Fecales.

El Índice RPI (River Physiochemical Index), por su parte, se basó en el método del ICA – Oregon. Este índice también consta de ocho parámetros: Temperatura, Potencial de hidrógeno, Oxígeno Disuelto, Fósforo Total, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Amonio + Nitrato, Coliformes Fecales y Sólidos Totales (Grafe, 2002). La diferencia con el índice de Oregon es que considera una sola ecuación de Sólidos Totales y no varias, en razón de sus diferentes componentes geomorfológicos. (Fernández & Ramos, 2004)

En base a la descripción de los 3 métodos para calcular el ICA, se pueden discernir distintos criterios y finalidades que tienen. Por tal motivo, aplicar aleatoriamente cualquier ICA en el área de estudio resultaría inapropiado, puesto que algunos de estos métodos están orientados a casos específicos e involucran una variedad de parámetros de calidad de agua.

Por tanto, se considera la necesidad de comparar los diversos Índices de Calidad de Agua (ICA) adecuados para el río Rímac. De esta manera, para la aplicación de cada, se eligieron 4 estaciones en la cuenca baja, para que finalmente pueda expresar un resultado adecuado y confiable para toda el área de estudio.

1.1. Situación Problemática

En nuestro país, el caso más visible es la contaminación es el que padece el principal abastecedor de agua para la ciudad de Lima, el río Rímac, en la cual la mayor parte de su flora y fauna ha desaparecido, por lo que los ecosistemas que formaban su cauce han desaparecido debido al crecimiento acelerado de la ciudad (Vargas, 2008). El uso de la tecnología está excediendo nuestra capacidad de gestionar la calidad del agua. (Timmons, 1979)

Asimismo, la única gran concentración poblacional en el país, Lima Metropolitana, ejerce una gran presión sobre los recursos naturales. En ella se asienta aproximadamente el 53% de la población peruana, concentrándose

en las cuencas bajas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín. (Bernex, Warner, Flores, & Oblitas, 2004)

La cuenca del río Rímac constituye un espacio, donde el recurso hídrico interactúa e interdepende, con el medio físico y con el medio biótico, conformando de esta manera, ecosistemas. (Gobierno Regional de Piura, 2009)

Los diversos monitoreos (en los años 2012 a 2016) de la calidad del agua en la cuenca realizados por la Autoridad Nacional del Agua reflejan un deterioro en el recurso hídrico. Por tal motivo, gestionar la calidad del agua en la cuenca es de vital importancia, con el fin de preservar su calidad ambiental. Una de ellas es mediante el cálculo de un Índice de Calidad de Agua (ICA); sin embargo, existen una diversidad de métodos, por lo que resulta necesaria una investigación que determine cuál de dicha variedad pueda adecuarse a las condiciones naturales del río Rímac.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo se puede definir el método más confiable para calcular el Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los principales métodos para calcular el Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac?
- ¿Qué indican los valores del Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac, utilizando los métodos seleccionados?
- ¿De qué manera se puede analizar la confiabilidad del mejor Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac?

1.3. Justificación teórica

La presente investigación abarca la aplicación de diversos métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac; sin embargo, al arrojar distintos

resultados, es difícil precisar cuál puede reflejar una realidad más ajustada al del área de estudio. Al aplicar los diversos métodos escogidos, se podrán contrastar los diversos resultados, y de tal manera poder identificar el método más confiable; a su vez, servir de instrumento de evaluación y sentar una base para futuras investigaciones en cuencas de similares características, entre ellas tenemos a las cuencas de la vertiente hidrográfica del Pacífico.

1.4. Justificación práctica

La aplicación y posterior comparación de distintos métodos de índices utilizados por cada permitirá constituir un mejor conocimiento sobre la aplicación de esta herramienta de evaluación de la calidad el agua en el río Rímac, puesto que al final se elegirá el método más adecuado para el área de estudio y se podrá considerar como un indicador representativo para el análisis integral de este recurso hídrico. De esta manera, podrá constituirse como una herramienta de evaluación para toma de decisiones, sea en los gobiernos locales o gobiernos regionales involucrados.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

El análisis de la aplicación de los métodos y su confiabilidad permitirán establecer el método más confiable para el Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- Los principales métodos para el cálculo de los Índices de Calidad de Agua (ICA) serán identificados mediante el diagnóstico de la calidad del agua en el río Rímac.
- Los valores del Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac arrojan diversos resultados de acuerdo a cada método seleccionado.
- Los análisis de confiabilidad incluyen criterios que determinan el mejor Índice de Calidad de Agua (ICA) del río Rímac.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Aplicar métodos para el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac para establecer el más confiable.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Identificar los principales métodos para calcular el Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac.
- Calcular los valores del Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac, utilizando los métodos seleccionados.
- Analizar la confiabilidad de los métodos seleccionados para determinar el mejor Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Las investigaciones relacionadas a los Índices de Calidad de Agua (ICA) en nuestro país son reducidas si los comparamos con la variedad de métodos que existen; sin embargo, se pueden encontrar investigaciones como la desarrollada por Coral (2014) en su tesis "Evaluación de la influencia de los procesos naturales y las actividades humanas en la calidad del agua del río Paria, distrito de Independencia - Huaraz - 2013-2014"; el cual evalúa el ICA – CCME, en donde los resultados fueron diversos, de acuerdo a cada estación y época.

Pérez (2017) aplica el método ICA – NSF en el río Moquegua durante el periodo 2014 – 2015. Los resultados de las 4 estaciones muestreadas fueron calificados como calidad "media" a "baja".

Sánchez (2017) abarcó su investigación en el río Santa, tramo Marcará - Carhuaz, entre los años 2012 y 2013. Se ubicaron 8 estaciones de muestreo, se aplicó el ICA – Dinius, determinados en general como calidad "mala".

Alarcón & Ñique (2016) realizaron una investigación en el humedal laguna Los Milagros (departamento de Huánuco – Perú), se aplicó el ICA – NSF, mediante el promedio de cuatro estaciones de muestreo en el área de estudio, con un valor de 62, calificado como calidad "media".

Bedregal (2011) enfoca su investigación en la cuenca alta del río Rímac, obtenidos con los resultados en 09 estaciones de muestreo (agosto-

diciembre, 2009). El método aplicado fue el ICA - CCME, en las cuales fueron calificadas en su mayoría como “regular” y “marginal”, deteriorando su calidad conforme va el recorrido del río. No obstante, para el área de estudio en su totalidad no se encuentran investigaciones que permitan evaluar de forma integral, de allí la importancia de aplicar un método específico que se ajuste a las condiciones del río Rímac.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Calidad del Agua

Expresa la idoneidad del agua para sustentar diversos usos. Cualquier otra función particular tendrá ciertos requerimientos para las características biológicas, físicas o químicas del agua; sea el caso de los límites de la concentración de contaminantes para el consumo de agua potable, o límites de temperatura y rangos de potencial de hidrógeno (pH) para el ambiente acuático de las especies de invertebrados. (Meybeck & Helmer, 1996)

Cada vez se reconoce más que los ecosistemas naturales tienen un lugar legítimo en la consideración de las opciones para la gestión de la calidad del agua. Esto es tanto por su valor intrínseco como porque son indicadores sensibles de los cambios o el deterioro en la calidad general del agua, proporcionando una adición útil a la información física, química y de otro tipo. (Meybeck & Helmer, 1996)

La calidad ambiental es una de las prioridades más actuales en la gestión de recursos acuáticos, referida al grado de perturbación y potencial de restauración o conservación en un ecosistema de acuerdo a las actividades humanas. En síntesis, la definición de la calidad del agua va más allá de sus atributos fisicoquímicos o biológicos; sino también considerar el contexto ecológico, como los usos y valores en función a las actividades antrópicas. Un contexto moderno define a estos conceptos como inseparables. (Hart, Maher, & Lawrence, 1999)

a. Parámetros medidos in situ

Temperatura

La temperatura se refiere al grado de calor o frialdad y se puede medir en grados Celsius. La temperatura del agua debe ser monitoreada regularmente. Entre las consecuencias de los cambios de temperatura se encuentran: Actividad fotosintética, tasa de difusión o gases, cantidad de oxígeno que puede disolverse, etc. (Kale, 2016)

Tiene una gran relevancia en la realización de los procesos que en ella se desarrolla. De tal modo, un incremento de la temperatura varía la solubilidad de las sustancias, acrecentando la de los sólidos disueltos y decreciendo la de los gases. (Aznar, 2000). La temperatura es una dimensión física y un requisito previo básico para todas las formas de vida. Las características físicas de la materia dependen de la temperatura (Dräger, 2013). Un incremento anormal (factores no climáticos) de la temperatura del agua, son originados por el vertimiento de aguas utilizadas en procesos industriales de intercambio de calor. Este parámetro se determina mediante termometría realizada “in situ”. (Aznar, 2000)

Potencial de hidrogeno (pH)

El pH se define teóricamente para cualquier medio como el logaritmo negativo decimal de la actividad del ion hidrógeno, α_{H^+}, en ese medio (Karastogianni, Girousi, & Sotiropoulos, 2016). Es una de las actividades de mayor relevancia y de mayor constancia en los análisis del agua. El rango de pH oscila entre 4 y 9 para aguas naturales. Para el agua pura a 25 °C es de 7, calificada como neutro. (Tinoco, 2007)

Conductividad eléctrica

Es la propiedad para conducir la corriente eléctrica medio acuoso. La medida depende la valencia, su concentración, de iones, de la temperatura de la medición y movilidad. (Sanabria, 2006). Dadas las bajas conductividades de la mayoría de las fuentes de agua dulce, las unidades de la conductividad

eléctrica comúnmente utilizadas son µS/cm. (Moore, Richards, & Story, 2008)

El término conductancia específica (SC) se ha usado algunas veces para referirse a la conductividad eléctrica medida a una temperatura de referencia específica; sin embargo, la conductancia específica (SC) es considerada sinónimo de la conductividad eléctrica por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada. (Mills, Cvitas, Homann, Kallay, & Kuchitsu, 1993)

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno, generalmente medida en miligramos o mililitros, disuelta en un litro de agua. De acuerdo a la solubilidad en el oxígeno, está correlacionada inversamente con la salinidad y la temperatura (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999). Las influencias antropogénicas tienden a cargar esta última escala mediante la adición de efluentes orgánicos. El agotamiento de oxígeno disuelto en las aguas receptoras es a menudo un indicador listo para los requisitos de tratamiento de aguas residuales. (Wetzel, 1983)

b. Parámetros fisicoquímicos

Alcalinidad

Está definida como una medida de la capacidad que tiene el agua para neutralizar un ácido. Los compuestos alcalinos, como los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, eliminan los iones de hidrógeno y disminuyen la acidez del agua, por lo que aumenta el pH (Environmental Protection Agency, 2006). En aguas naturales es de importancia porque contribuye a evitar propiedades ligadas a la corrosividad y mantiene el balance iónico. La alcalinidad debe mantener a los niveles naturales propios del área, sin variaciones drásticas para proteger la vida acuática. (Beita, 2008)

Amoniaco

El amoniaco es una sustancia química producida por la naturaleza, como por seres humanos. Está compuesto en una parte de nitrógeno (N) y tres partes

de hidrógeno (H_3) (Cruz, 2013). El amoníaco generalmente está presente en aguas naturales, aunque en cantidades muy pequeñas, como resultado de la actividad microbiológica que causa la reducción de los compuestos que contienen nitrógeno. Cuando está presente en niveles superiores a 0.1 mg/L, pueden estar indicadas aguas residuales o contaminación industrial. (Environmental Protection Agency, 2001)

Cloruro

El cloruro (Cl^-) es un anión principal natural que se encuentra en todas las aguas naturales. El cloruro se comporta como un ion conservador en la mayoría de los ambientes acuosos, lo que significa que su movimiento no se retrasa por la interacción del agua con los suelos, los sedimentos y las rocas (Kelly, Panno, & Hackley, 2012). En aguas superficiales y subterráneas de fuentes naturales y antropogénicas, tales como escorrentía que contiene sales de deshielo de carreteras, el uso de fertilizantes inorgánicos, lixiviados de vertederos, efluentes de fosas sépticas, alimentos para animales, efluentes industriales, drenaje de irrigación e intrusión de agua de mar en áreas costeras. (World Health Organization, 2003)

Cianuro

El cianuro es una sustancia química, caracterizada por la presencia de una unidad química formada por el enlace carbono-nitrógeno (CN^-) se combina con una gran mayoría de compuestos orgánicos e inorgánicos (Guerrero, 2005). Puede tener múltiples usos: metalurgia, pegamentos, plásticos, pintura, herbicidas, plaguicidas y fertilizantes. Además, al quemar lana, seda o vinilo se liberan acronitrilos, compuestos que contienen al grupo funcional cianuro. (Ramírez, 2010)

Demanda Bioquímica de Oxigeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida del oxígeno disuelto consumido por los microorganismos durante la oxidación de sustancias reducidas en aguas y desechos. Las fuentes típicas de DBO son el carbono orgánico fácilmente biodegradable y el amoníaco. Estos compuestos son componentes comunes o subproductos metabólicos de los

desechos de plantas y animales y actividades humanas, como las aguas residuales domésticas e industriales. (Penn, Pauer, & Mihelcic, 2004). También es utilizado para determinar la eficiencia de un proceso de tratamiento de aguas y para dimensionar las instalaciones para el tratamiento de las mismas. (Sánchez M., 1994)

Demanda Química de Oxigeno

La demanda química de oxígeno (DQO) está definida como la cuantía de oxígeno que consumen las materias presentes en el agua, que son oxidables en determinadas condiciones, es decir, es la medida del material oxidable cualquiera sea su origen: no biodegradable o biodegradable (Pérez N. , 2017). Es un importante indicador para el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como para la caracterización de la calidad del agua, este parámetro se utiliza en todo el mundo y forma parte de muchas directivas relacionadas con la calidad del agua. (Kolb, Bahadir, & Teichgräber, 2017)

Dureza

Está definida como la proporción en menor o mayor medida de sales disueltas presentes, primordialmente Mg^{2+} y Ca^{2+}. El grado de dureza se encuentra en proporción directa al grado de concentración de sales de magnesio y calcio, también pueden encontrarse diversos aniones (Huallpa, 2017). Sin embargo, puede presentar ningún riesgo a la salud, aunque sí generar problemas a partir de concentraciones mayores a 200 mg/L, también a las instalaciones sanitarias, lavaplatos o los calentadores de agua (Calsín, 2016)

Fenoles

Son un grupo de compuestos aromáticos utilizados en diversos procesos industriales como agentes para síntesis que van desde la petroquímica hasta desinfectantes, insecticidas, etc. Estos compuestos son tóxicos, estables, y de difícil degradación por los microorganismos (Wade, 1993). En el agua, se relaciona con la degradación de ácidos fúlvicos y húmicos y de materia orgánica, aunque primordialmente está asociada a procesos de

contaminación de las fuentes por aguas servidas, desechos industriales, entre otros. A concentraciones altas, los compuestos fenólicos y los fenoles halogenados son tóxicos para el hombre. (CEPIS, 2004)

Fluoruros

El fluoruro es un anión inorgánico del flúor, que se encuentra naturalmente en la biosfera con presencia ubicua en el medio ambiente y es el más electronegativo y reactivo de todos los elementos. Esta última característica explica por qué el fluoruro se encuentra principalmente como inorgánico en lugar de la forma elemental (Peres, Leite, & Buzalaf, 2015). Los beneficios del fluoruro incluyen tanto el control de caries como la formación ósea (Bratthall, Hansel-Petersson, & Sundberg, 1996). Sin embargo, puede afectar negativamente la calidad de los tejidos mineralizados en desarrollo, causando fluorosis dental y esquelética. Las respuestas diferenciales parecen estar determinadas por la dosis y el tiempo de exposición. (Everett, 2002)

Fosfatos

Los fosfatos existen en diferentes formas inorgánicas tanto en el suelo como en el agua. La fuente de fosfatos puede ser artificial o antropogénica dependiendo de las actividades que se desarrollen en el área bajo estudio (American Public Health Association, 1999). Según Egemen (2000), puede producirse una eutrofización acelerada como resultado del contenido de fósforo de los detergentes en las aguas naturales. Por lo tanto, los efectos combinados de concentraciones excesivas de detergentes en aguas naturales pueden reducir las concentraciones de oxígeno, un cambio en el color del agua, un aumento de la turbidez y la sedimentación, y una disminución de la actividad biológica. (Smith, Tilman, & Nekola, 1999)

Fosforo

Es de importancia para el crecimiento de organismos biológicos como las algas y otros. Las formas de importancia en aguas son las siguientes: Ortofosfatos, Polifosfatos y Fosfatos orgánicos (Romero, 2002). En la actualidad existe gran interés en restringir compuestos de fósforos en aguas

superficiales de parte de los vertimientos de aguas residuales de origen doméstico o industrial, y por medio de escorrentías naturales ya que en aguas superficiales se origina un difícil control de dañinas proliferaciones incontroladas de algas (Levine, Tchobanoglous, & Asano, 1985). Actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas, el fósforo está presente casi exclusivamente como fosfatos en aguas de origen natural y residual. (IDEAM, 2004)

Nitratos

El nitrato es un ion natural que forma parte del ciclo del nitrógeno. El ion nitrato (NO^{3-}) es la forma estable de nitrógeno combinado para sistemas oxigenados (ICAIR Life Systems, Inc., 1987). Los niveles elevados de nitratos pueden sugerir la posible presencia de otros contaminantes, tales como microorganismos o pesticidas, que podrían causar problemas de salud (Vargas, 2010). La concentración de nitrato en el agua superficial es normalmente baja, pero puede alcanzar niveles altos como resultado de la escorrentía agrícola, la escorrentía del vertedero de desechos o la contaminación con desechos humanos o animales. (World Health Organization, 2011)

Sólidos Totales

Se define como sólidos la materia que permanece como residuos después de evaporación y secado a 103 °C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos) (Romero, 2002). La determinación de Sólidos Totales se efectúa mediante la evaporación y secado de una determinada muestra en un recipiente cuantificable de peso conocido. (Vargas, 2010)

Sólidos Totales Disueltos

Los sólidos disueltos totales se definen como todas las sustancias inorgánicas contenidas en el agua que pueden pasar a través de un filtro de 2 micras. En general, es la suma de los cationes y aniones en el agua. Los iones y los compuestos iónicos que los forman generalmente incluyen carbonato, bicarbonato, cloruro, fluoruro, sulfato, fosfato, nitrato, calcio,

magnesio, sodio, potasio, pero cualquier ion que esté presente contribuirá al total (Raisbeck, 2008). Su determinación se realiza mediante una membrana con poros de 2.0 µm o de menor medida en la cual se mide del total de residuos sólidos no filtrables (tales residuos orgánicos y sales). (Martínez, 2006)

Sólidos Totales Suspendidos

En una muestra de agua se encuentra como material suspendido. Se calcula por la filtración de una muestra a través de un filtro de porosidad inferior a 2 micras (Perez, 2010). Los sólidos suspendidos permiten determinar la concentración de residuos contaminantes, así como la eficiencia de las unidades de tratamiento, específicamente los sedimentos primarios con los que se puede cuantificar la carga de los restos de contaminantes en las unidades secundarias del tratamiento biológico. (Vargas, 2010)

Sulfuro

Los sulfuros se presentan en el agua en forma de $S^{=}$, HS^{-} o H_2S, según el pH, producen olor y sabor muy desagradable, son indeseables en abastecimientos y tóxicos en la forma no ionizada (H_2S) (Romero, 2002). Es encontrado con regularidad en aguas subterráneas (aguas termales). En aguas de origen residual proviene en gran parte de la degradación de la materia de origen orgánico, y en menor medida de origen industrial. (IDEAM, 2007)

Turbiedad

Es la capacidad de una muestra para impedir su paso directamente de reflejar o absorber un haz de luz. Se produce por coloides o partículas en suspensión, resultado de la erosión causada por la escorrentía o del desarrollo de microorganismos (Perez, 2010). De esta manera, una alta turbidez suele asociarse a altos niveles de microorganismos como virus, parásitos y algunas bacterias. (Calsín, 2016)

c. Parámetros inorgánicos

Aluminio

El aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre, que comprende aproximadamente el 7% de su masa (Delhaize & Ryan, 1995). La exposición oral al aluminio no suele ser perjudicial. Varios estudios han encontrado asociaciones débiles entre vivir en áreas con niveles elevados de aluminio en el agua potable y un mayor riesgo (o prevalencia) de la enfermedad de Alzheimer. Otros estudios no han encontrado asociaciones significativas. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008)

Arsénico

Ocurre naturalmente en el agua y el suelo como metaloide. También se libera de una serie de actividades humanas, como la minería, la extracción de petróleo y gas natural, la preservación de la madera y la quema de carbón. Aunque es raro en la naturaleza como elemento puro, tanto las formas inorgánicas como las orgánicas se encuentran comúnmente en varios estados de oxidación diferentes, de los cuales 2 (+3 y +5) ocurren en el suelo, el agua y la vegetación. (Raisbeck, 2008)

Respecto a su toxicidad, es altamente nocivo y carcinógeno, no solamente en altas concentraciones, ya que su exposición puede llegar a la letalidad. A través del consumo del agua, en tiempos prolongados a bajas concentraciones, también puede causar efectos crónicos para la salud. (de Esparza, 2006)

Cadmio

Es altamente resistente a la corrosividad y utilizado para su electrodeposición en diversos metales, como el hierro y el acero. Los pestillos, tornillos, vehículos de motor y diversas partes de los aviones son tratados con cadmio para evitar la corrosión. (Nordberg, 2012)

El cadmio induce lesiones en los tejidos al crear estrés oxidativo, cambios epigenéticos en la expresión del ADN, inhibición o regulación positiva de las

vías de transporte, particularmente en el segmento S1 proximal del túbulo renal. (Bernhoft, 2013)

Hierro

El hierro es el elemento más abundante (por masa) en la Tierra, formando gran parte de su núcleo interno. Después del aluminio, es el más abundante en la Tierra y el cuarto en la corteza terrestre (Acevedo & Frías, 2018). En vista que el cuerpo humano no cuenta con mecanismos eficientes para la excreción de grandes cantidades de hierro (Forrellat, Gautier du Défaix, & Fernández, 2000). En el agua se puede encontrar como hierro orgánico quelatado, bicarbonato ferroso, hidróxido ferroso o sulfato ferroso. El hierro es un elemento benéfico para el metabolismo, se recomienda un consumo de 7 a 35 mg/d. (Romero, 2002)

Mercurio

El mercurio es parte de la corteza terrestre, ha estado en el planeta tierra desde su formación, siguiendo un ciclo atmosférico natural cuyo equilibrio se ha visto perturbado por las actividades humanas o antropogénicas. Las fuentes de contaminación por mercurio, pueden ser naturales o antropogénica. (Osores, Grández, & Fernández, 2010)

El sistema nervioso es muy sensible a todas las formas de mercurio. Por tanto, la exposición a altos niveles de mercurio metálico, inorgánico u orgánico, puede dañar el cerebro y los riñones en forma permanente. (Gaona, 2004)

Plomo

El plomo es un metal pesado, gris plateado, ubicuo y es detectable en todas las fases del ambiente inerte (por ejemplo, aire, agua y suelo), así como en la mayoría de los sistemas biológicos. Es uno de los metales más utilizados en el mundo, y como muchos otros metales, rara vez se encuentra en su forma elemental. (Juberg, 1997)

Sus efectos tóxicos causan problemas ambientales y de salud debido a su estabilidad en el sitio contaminado y la complejidad del mecanismo en la

toxicidad biológica, especialmente peligroso para los niños que llevan a un retraso mental cuando hay una concentración anormal en el fluido corporal. (Tiwari, Tripathi, & Tiwari, 2013)

Selenio

El selenio es un mineral que se encuentra distribuido de forma variable en la corteza de la tierra. Este elemento es esencial para los animales y de importancia en el metabolismo normal de los humanos. Químicamente, el selenio es considerado un metaloide. (Vinchira & Muñoz-Ramírez, 2010)

Respecto a la toxicidad de este elemento, este puede deberse a la excesiva ingesta de alimentos con concentraciones elevadas (seleniosis). La deficiencia de este elemento también puede afectar a la salud humana. (López-Bellido, 2013)

d. Parámetros microbiológicos

Coliformes Totales

Los coliformes totales son un grupo de bacterias que se encuentran comúnmente en el medio ambiente, por ejemplo, en el suelo o la vegetación, así como en los intestinos de los mamíferos, incluidos los humanos. (Pal, 2014)

La presencia de coliformes totales puede o no indicar contaminación fecal. En casos extremos, un recuento alto para el grupo coliforme total puede asociarse con un recuento bajo, o incluso nulo, de coliformes termotolerantes. Tal resultado no necesariamente indicaría la presencia de contaminación fecal. (UNEP/WHO, 1996)

Coliformes Termotolerantes

Los coliformes fecales son las bacterias naturales que se encuentran en el tracto digestivo de la mayoría de los animales. Se desprenden junto con los excrementos, y pueden colonizar otros individuos o incluso especies diferentes a su huésped original (Robbins, 2007). Los coliformes fecales también son llamados coliformes totales, debido a que soportan

temperaturas hasta de 45 °C, son de origen fecal. Están representados en su mayoría por *E. coli*. Se pueden encontrar entre otros menos frecuentes, como el *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*, aunque su origen está asociado con la vegetación y ocasionalmente aparecen en el intestino (Hayes, 1993). Es un parámetro de mejor precisión para higiene en aguas y alimentos, ya que advierte contaminación fecal, sea de origen humano o animal. (Gómez, Peña, & Vásquez, 1999)

2.2.2. Índice de Calidad de Agua (ICA)

Es un método bien conocido para expresar la calidad del agua que ofrece una unidad de medida estable y aplicable que responde a los cambios en las principales características del agua (Brown, McLelland, Deininger, & O'Connor, 1972). Se requiere de conocimientos sobre los principios y conceptos básicos del agua y cuestiones relacionadas como cualquier otra herramienta. (Nikbakht, 2004)

Brabander (1992) lo define como un mecanismo para presentar una expresión numérica derivada acumulativa que define un cierto nivel de calidad del agua. En otras palabras, resume gran número de información cuantitativa de calidad del agua en una terminología concreta (que va desde excelente a muy malo) para indicar al gobierno y al público en general de manera coherente. (Bharti & Katyal, 2011)

Como antecedentes tenemos que, los intentos de categorizar el agua según su grado de pureza datan de mediados del siglo XX (Horton, 1965 & Landwehr, 1974). Horton seleccionó 10 de las variables de calidad del agua más comúnmente medidas para su índice, incluyendo oxígeno disuelto, pH, coliformes, conductancia específica, alcalinidad y cloruro. El peso del índice varió de 1 a 4 y el puntaje del índice se obtuvo con una función de agregación de suma lineal. La función consistía en la suma ponderada de los subíndices dividida por la suma de los pesos y se multiplicó por dos coeficientes M1 y M, que reflejan la temperatura y la contaminación obvia, respectivamente.

El esfuerzo pionero de Horton ha sido seguido por varios colaboradores para formular varios ICA y su uso ha sido defendido fuertemente por agencias responsables de inspección de la contaminación del agua y suministro. (Debels, Figueroa, Urrutia, Barra, & Niell, 2005)

2.2.3. Métodos para calcular un Índice de Calidad de Agua (ICA)

a. Índice de Calidad de Agua - Fundación Nacional de Saneamiento (ICA – NSF)

El método propuesto para comparar la calidad del agua se basa en nueve parámetros de calidad del agua, tales como: Temperatura, Oxígeno Disuelto, Potencial de Hidrógeno, Turbidez, DBO, Coliformes Fecales, Fosfatos Totales, Sólidos Totales y Nitratos. Esta investigación fue apoyada por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF, por sus siglas en inglés) y es por eso que también se lo conoce como NSFWQI (ICA-NSF en español) (Brown, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970)

Los datos de calidad del agua son registrados y transferido a un gráfico de curva de ponderación, donde se obtiene un valor numérico de Q_i (Tyagi, Sharma, Singh, & Dobhal, 2013). La expresión matemática propuesta es:

$$ICA = \sum_{i=1}^{n} Q_i W_i \qquad \text{... (1)}$$

donde:

Q_i = valor Q se obtiene del parámetro *i* de acuerdo al resultado del análisis.

W_i = factor de ponderación del parámetro *i*.

n = Número de parámetros de calidad de agua.

Cuadro 1. Factores de ponderación según el método ICA – NSF para cada parámetro evaluado

Parámetro	Factor W_i
Temperatura (°C)	0.10
Oxígeno disuelto	0.17
Potencial de hidrógeno (pH)	0.11
Turbidez (NTU)	0.08
DBO (mg/L)	0.11
Fosfatos totales (mg/L PO_4^{3-} -P)	0.10
Nitratos (mg/L NO_3^-)	0.10
Sólidos totales (mg/L)	0.07
Coliformes fecales (NMP/ 100mL)	0.16

***Fuente*. Datos tomados de Brown (1970).**

De acuerdo al valor obtenido, Brown (1970) clasifica la calidad del agua de la siguiente manera:

Cuadro 2. Calificación de la calidad del agua según el método ICA – NSF

Valor ICA	Rango de calidad de agua
91-100	Excelente
71-90	Buena
51-70	Media
26-50	Mala
0-25	Muy mala

***Fuente*. Datos tomados de Brown (1970).**

Torres, Hernán, & Patiño (2009) establecen que el índice NSF se puede adaptar y modificar de acuerdo con las condiciones prevalecientes en nuestro medio o de cada sistema acuático en particular.

b. Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú (ICA – PE)

Adoptado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) como un instrumento que tiene como objetivo la evaluación simplificada de la calidad del agua, y que apoyará a una mejor comprensión de la gestión o dirección de calidad del recurso agua.

La metodología utilizada en este método resulta de una adaptación del Índice de Calidad de Agua – Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (ICA – CCME).

El ICA – PE determina la evaluación de los parámetros en la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA. En dicho documento se detallan las categorías y subcategorías de los cuerpos de agua en el Perú.

En el Cuadro 3, se muestran los parámetros requeridos para el cálculo del ICA, de acuerdo a la categoría del ECA – Agua.

Cuadro 3. Parámetros de calidad de agua requeridos según el método ICA – PE

Categoría ECA – Agua	Subcategoría ECA - Agua	Parámetros	Cantidad
Categoría 1	A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Oxígeno Disuelto, Potencial de Hidrógeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno, Arsénico, Cobre, Cromo Total, Hierro, Cadmio, Manganeso, Mercurio, Plomo, Zinc, y Coliformes Termotolerantes.	13
Categoría 3	D1: Riego de cultivo de tallo alto y bajo	Potencial de Hidrógeno (pH), Conductividad, Oxígeno Disuelto, Cloruros, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Arsénico, Aluminio, Cadmio, Boro, Hierro, Cobre, Mercurio, Manganeso, Zinc, Plomo, Huevos de helmintos y Coliformes Termotolerantes.	17
Categoría 4	E1: Lagunas y Lagos	Potencial de Hidrógeno (pH), Oxígeno Disuelto, Aceites y Grasas, Clorofila A, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Fósforo Total, Amoniaco-N, Arsénico, Cadmio, Mercurio, Plomo, Zinc, Hidrocarburos de petróleo (HTTP), Coliformes Termotolerantes, Sólidos Suspendidos Totales y Nitrógeno Total.	16
	E2: Ríos - Costa y Sierra	Potencial de Hidrógeno (pH), Oxígeno Disuelto, Fósforo Total, Aceites y grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Arsénico, Cadmio, Mercurio, Plomo, Zinc, Hidrocarburos de petróleo (HTTP), Coliformes Termotolerantes, Sólidos Suspendidos Totales y Nitrógeno Total.	14
	E2: Ríos - Selva	Oxígeno Disuelto, Potencial de Hidrógeno (pH), Aceites y Grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, Amoniaco-N, Fósforo Total, Nitrógeno Total, Plomo, Arsénico, Mercurio, Cadmio, Zinc, Hidrocarburos de petróleo (HTTP), Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (benzopireno, antraceno y fluoranteno) y Coliformes Termotolerantes.	18

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2018).**

El cálculo de las puntuaciones del índice en el método ICA – PE se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\mathrm{ICA} = 100 - \frac{\sqrt{{F_1}^2 + {F_2}^2 + {F_3}^2}}{1.732} \qquad \text{... (2)}$$

donde:

- **F_1** (Alcance): Número de parámetros que no cumplen el ECA – Agua, respecto al número total de parámetros:

$$F_1 = \frac{\#\text{ de parámetros sin cumplimiento del ECA Agua}}{\#\text{ total de parámetros}}\ x\ 100$$

- **F_2** (Frecuencia): Número de parámetros evaluados que no cumplen el ECA – Agua, respecto al número total de parámetros evaluados:

$$F_2 = \frac{\#\text{ de parámetros evaluados sin cumplimiento del ECA Agua}}{\#\text{ total de parámetros evaluados}}\ x\ 100$$

Determinación del ICA para 1 monitoreo

Si solo se hiciera 1 monitoreo, se realiza igualmente los pasos anteriores para hallar cada factor (F_1, F_2). Resultando de esta manera:

$$\mathrm{F1} = \mathrm{F2}$$

- **F_3** (Amplitud): Determinado por los excesos de todos los datos respecto a su número total):

$$F_3 = \left(\frac{\mathrm{nse}}{\mathrm{nse} + 1}\right)\ x\ 100$$

nse: Suma Normalizada de Excedentes (nse).

La Suma Normalizada de Excedentes (nse), se calcula sumando los excedentes de cada parámetro excedido y dividido entre el número total de ensayos (los que cumplen y no el ECA).

$$\mathrm{nse} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Excedente_i}{\text{Total de ensayos}}\right) x\ 100$$

*F_3 se calcula de acuerdo a estos 2 casos:

Caso 1: Cuando el valor del parámetro supera al ECA – Agua:

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}\right) - 1$$

Caso 2: En el caso de que el valor calculado no cumpla el mínimo admisible del ECA – Agua (ejemplo: oxígeno disuelto), se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Excedente}_i = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}\right) - 1$$

Por lo tanto, los resultados se clasifican en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Calificación de la calidad del agua según el método ICA – PE

Valor ICA	Calificación	Interpretación
95 - 100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80 - 94	Buena	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65 - 79	Favorable	La calidad del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento.
45 - 64	Regular	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Mucho de los usos necesitan tratamiento.
0 - 44	Mala	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2018).**

Este tipo de calificación de modo cualitativo, está representada a escala cromática, a fin de mostrarlas de forma simplificada.

c. Índice de Calidad de Agua de Oregon (ICA – Oregon)

Fue elaborado después del ICA – NSF (Mcclelland, 1974). Se usó el método Delphi en ambos índices (Dalkey & Helmer, 1963). Este ICA crea un puntaje para evaluar la calidad general del agua de ríos y corrientes corriente de Oregon y su aplicación a otras regiones geográficas, que combina ocho parámetros en un solo resultado. Los parámetros cubiertos en este método son temperatura, DBO, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales, coliformes fecales, fosfatos totales y nitratos + amonios (Dunnette, 1979). El ICA – Oregon está elaborado para exponer una calidad de agua en general, en vez de uno específico. (Fernández, Ramos, & Solano, 2004)

La expresión matemática de este método es dada por Cude (2001):

$$\mathrm{ICA} = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^{n} {}^{1}/_{S_i{}^2}}} \qquad \text{... (3)}$$

donde:

n = número de subíndices

S_i = subíndice del i-ésimo parámetro

Además, la escala de calificación de este ICA también ha sido clasificada en varias clases, que se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Calificación de la calidad del agua según el método ICA – Oregon

Valor ICA	Rango de calidad de agua
90-100	Excelente
85-89	Buena
80-84	Regular
60-79	Pobre
10-59	Muy pobre

***Fuente*. Datos tomados de Cude (2001).**

d. Índice de Calidad de Agua ICA - Dinius

A través de este método se intentó diseñar un sistema rudimentario de contabilidad social que mediría los costos y el impacto de los esfuerzos de control de la contaminación. En este sentido, el ICA - Dinius es un precursor de los índices de 'planificación' o 'toma de decisiones'. Para el cálculo del ICA se seleccionaron once parámetros. Al igual que el índice de Horton y el ICA – NSF, tiene una escala decreciente, con valores expresados como un porcentaje de calidad perfecta correspondiente al 100%. (Abbasi, 2012)

El índice incluyó 12 parámetros: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales, E. coli, pH, alcalinidad, dureza, cloruro, conductividad específica, temperatura, color y nitratos. Este índice determina seis usos del agua: suministro de agua pública, recreación, pesca, vida acuática, agricultura e industria (Dinius, 1987). Las funciones del subíndice fueron resueltas resumidas en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Funciones de los subíndices y ponderación según el método ICA – Dinius para cada parámetro evaluado

Parámetro	Peso ponderado	Función
Oxígeno disuelto (% saturación)	0.109	0.82(OD) + 10.56
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	0.097	$108(DBO)^{-0.3494}$
Coliformes totales (NMP/100mL)	0.090	$136(CT)^{-0.1311}$
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	0.116	$106(E\text{-}COLI)^{-0.1286}$
Alcalinidad (mg/L)	0.063	$110(ALC)^{-0.1342}$
Dureza (mg/L)	0.065	$552(DU)^{-0.4488}$
Cloruros (mg/L)	0.074	$391(CL)^{-0.3480}$
Conductividad específica (µmho/cm 25 °C)	0.079	$506(CS)^{-0.3315}$
Potencial de hidrógeno (pH)	0.077	Si pH <6.9; $10^{0.6803+0.1856(pH)}$ Si pH (6.9 -7.1); 1 Si pH >7.1; $10^{3.65-0.2216(pH)}$

Nitratos (mg/L)	0.090	$125(N)^{-0.2718}$
Temperatura (°C)	0.077	$10^{2.004-0.0382(Ta-Ts)}$ T_a = Temp. media mensual T_s = Temp.
Color (Unidad)	0.063	$127(C)^{-0.2394}$

***Fuente*. Datos tomados de Dinius (1987).**

Las funciones individuales del subíndice se combinaron utilizando una función de agregación multiplicativa en la que el peso de cada ecuación del subíndice se basó en la evaluación de la importancia de los miembros del panel Delphi de cada parámetro para la calidad general. La función de agregación multiplicativa final tenía la forma general:

$$\mathrm{ICA} = \prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i} \qquad \ldots (4)$$

donde:

ICA es el índice de calidad del agua, un número entre 0 y 100;
I_i es el subíndice de la variable contaminante, un número entre 0 y 100;
W_i es el peso unitario de la variable contaminante, un número entre 0 y 1;
y n es el número de variables contaminantes.

La función ponderada I_iW_i para cada contaminante se calcula mediante la sustitución del valor correspondiente de la función del subíndice y su peso.

Cuadro 7. Calificación de la calidad del agua según el método ICA - Dinius

<table>
<tr><th rowspan="2">Rango ICA</th><th colspan="5">Interpretación ICA según los Usos de Agua</th></tr>
<tr><th>Uso como Agua Potable</th><th>Uso Recreativo</th><th>Uso en Pesca y Vida Acuática</th><th>Uso en Agricultura</th><th>Uso Industrial</th></tr>
<tr><td>90-100</td><td>No requiere purificación para consumo.</td><td rowspan="3">Cualquier tipo de deporte acuático.</td><td rowspan="3">Pesca y vida acuática abundante.</td><td>No requiere purificación para riego.</td><td>No se requiere purificación.</td></tr>
<tr><td>80-90</td><td>Purificación menor requerida.</td><td rowspan="2">Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.</td><td rowspan="2">Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.</td></tr>
<tr><td>70-80</td><td>Dudoso su consumo sin purificación.</td></tr>
<tr><td>60-70</td><td rowspan="3">Tratamiento potabilizador necesario.</td><td rowspan="2">Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.</td><td>Límite para peces muy sensitivos.</td><td rowspan="2">No requiere tratamiento para la mayoría de cultivos.</td><td rowspan="2">No requiere tratamiento para la mayoría de industrias de operación normal.</td></tr>
<tr><td>50-60</td><td>Dudosa la pesca sin riesgos de salud.</td></tr>
<tr><td>40-50</td><td>Dudosa para contacto con el agua.</td><td>Vida acuática limitada a especies muy resistentes.</td><td rowspan="2">Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.</td><td rowspan="2">Tratamiento para mayoría de usos.</td></tr>
<tr><td>30-40</td><td rowspan="4">Dudosa para consumo.</td><td>Evitar contacto, sólo con lanchas.</td><td>Inaceptable para actividad pesquera.</td></tr>
<tr><td>20-30</td><td>Contaminación visible, evitar cercanía.</td><td rowspan="3">Inaceptable para vida acuática.</td><td>Uso sólo en cultivos muy resistentes.</td><td>Uso restringido.</td></tr>
<tr><td>10-20</td><td rowspan="2">Inaceptable para recreación.</td><td rowspan="2">Inaceptable para riego.</td><td rowspan="2">Inaceptable para cualquier industria.</td></tr>
<tr><td>0-10</td></tr>
</table>

***Fuente*. Datos tomados de Dinius (1987).**

e. Índice de Calidad de Agua – León

Este índice fue elaborado por el Instituto Mexicano del Agua, agrupa los parámetros más contaminantes y representativos. Modifica y adapta un modelo propuesto en la literatura (Dinius, 1987), a través del Método Delphi, y es aplicada a determinar la calidad del agua en el sistema de la cuenca Lerma - Chapala de la Red Nacional de Monitoreo. (León, 1988)

La evaluación se obtiene a partir de una media geométrica. (Brown & McCleland,1973)

$$ICA = \prod_{i=1}^{n} Q_i^{W_i} \qquad \text{... (5)}$$

Donde:

W_i: Son los pesos específicos asignados a cada parámetro *i*.
Q_i: Es la calidad del parámetro *i*.

Finalmente, el ICA determina valores entre 0 y 100. Permite evaluar los niveles de contaminación y su clasificación en función del uso del agua.

Cuadro 8. Ponderaciones asignadas a cada parámetro – ICA León

Parámetro	Valor de W_i
Oxígeno disuelto	0.103
pH	0.063
Diferencia de temperatura	0.043
Sólidos Suspendidos	0.033
Demanda Química de Oxígeno	0.053
Amonio	0.043
Nitratos	0.053
Fosfatos	0.073
Alcalinidad	0.055
Coliformes Totales	0.083
Fenoles	0.033
Coliformes Fecales	0.143
Dureza	0.058
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.096
Cloruros	0.068

***Fuente*. Datos tomados de Fernandez y Solano (2005).**

En función de esta clasificación y dependiendo del uso al que se destina el agua indicándose las medidas o límites aconsejables, se establecieron los criterios que se presentan a continuación. (Dinius, 1987)

Cuadro 9. Calificación de la calidad del agua según el método ICA – León

<table>
<tr><th rowspan="2">Rango ICA</th><th colspan="5">Interpretación ICA según los Usos de Agua</th></tr>
<tr><th>Uso como Agua Potable</th><th>Uso Recreativo</th><th>Uso en Pesca y Vida Acuática</th><th>Uso en Agricultura</th><th>Uso Industrial</th></tr>
<tr><td>90-100</td><td>Excelente</td><td rowspan="3">Excelente</td><td rowspan="3">Excelente</td><td>Excelente</td><td>Excelente</td></tr>
<tr><td>80-90</td><td>Aceptable</td><td rowspan="2">Aceptable</td><td rowspan="2">Aceptable</td></tr>
<tr><td>70-80</td><td>Levemente Contaminada</td></tr>
<tr><td>60-70</td><td rowspan="2">Contaminada</td><td rowspan="2">Aceptable</td><td>Aceptable</td><td rowspan="2">Levemente Contaminada</td><td rowspan="2">Levemente Contaminada</td></tr>
<tr><td>50-60</td><td>Levemente Contaminada</td></tr>
<tr><td>40-50</td><td>Fuertemente Contaminada</td><td>Levemente Contaminada</td><td>Contaminada</td><td rowspan="2">Contaminada</td><td rowspan="2">Contaminada</td></tr>
<tr><td>30-40</td><td rowspan="4">Excesivamente Contaminada</td><td>Contaminada</td><td>Fuertemente Contaminada</td></tr>
<tr><td>20-30</td><td>Fuertemente Contaminada</td><td rowspan="3">Excesivamente Contaminada</td><td>Fuertemente Contaminada</td><td>Fuertemente Contaminada</td></tr>
<tr><td>10-20</td><td rowspan="2">Excesivamente Contaminada</td><td rowspan="2">Excesivamente Contaminada</td><td rowspan="2">Excesivamente Contaminada</td></tr>
<tr><td>0-10</td></tr>
</table>

***Fuente*. Datos tomados de Fernandez y Solano (2005).**

Algo que se pueda considerar de relevancia, es la insuficiencia posible de datos completos en un monitoreo, por lo tanto, si faltara algún valor de las variables, el peso específico se distribuye en forma proporcional entre los demás, excluyéndolo del operador multiplicativo al calcular el ICA. (León, 1988)

f. Índice de Calidad de Agua – Universal

El Índice de Calidad de Agua Universal (ICAU) se utiliza para caracterizar la calidad del agua superficial orientada al suministro de agua potable. El ICAU tiene ventajas sobre los índices preexistentes al reflejar la idoneidad del agua para un uso específico: el suministro de agua potable y se ha desarrollado estudiando el estándar supranacional. (Boyacioglu, 2007)

Se desarrolló sobre la base de los siguientes estándares de calidad del agua del Consejo de la Unión Europea y de Turquía. Los subíndices son funciones de valor (curvas de calificación) para transformar las diferentes unidades y dimensiones de las variables de calidad del agua en una escala común, como se muestra en el Cuadro 10. (Boyacioglu, 2007)

Cuadro 10. Funciones para cada subíndice para el cálculo del ICA - Universal

Parámetro	Rango	Función del subíndice
Demanda Bioquímica de Oxígeno	X<3 3<=X<5 5<=X<7 X>=7	y=100 y=-25X+175 y=-22.5X+162.5 y=0
Nitratos	X<5 5<X<=10 10<X<=20 X>20	=100 y=-10X+150 y=- 4.5X+95 y=0
Arsénico	X<=0,02 0,02<X<=0,05 0,05<X<=0,1 X>0,1	y=100 y=-1666.7X+133.33 y=-900X+95 y=0
Oxígeno Disuelto	X>=8 8>X>=6 6>X>=3 X<3	y=100 y=25X-100 y=15X- 40 y=0
Fluoruro	X<1 1<X<=2 X>2	y=100 y=-95X+194.17 y=0
Fósforo total	X<0,02 0,02<X<=0,16 0,16<X<=0,65 X>0,65	y=100 y=-357.14X+107.14 y=-91.837X+64.694 y=0
Mercurio	X<0,0001 0,0001<X<=0,0005 0,0005<X<=0,002 X>0,002	y=100 y=-125000X+112.5 y=-30000X+65 y=0
Selenio	X<0,01 0,01<X<=0,02 X>0,02	y=100 y=4500X+95 y=0
Cianuro	X<0,01 0,01<X<=0,05 0,05<X<=0,1 X>0,1	y=100 y=-1250X+112.5 y=-900X+95 y=0
Cadmio	X<0,003 0,003<X<=0,005 0,005<X<=0,01 X>0,01	y=100 y=-25000X+175 y=-9000X+95 y=0
Coliformes Totales	X<=50 50<X<=5000 5000<X<=50000 X>50000	y=100 y=-10.857lnX+142.47 y=-21.715lnX+284.95 y=0
pH	6,5<=x<8,5 5,5<=x<6,4y 8,6<=x<9 X<5,5 y X>9	y=100 y=50 y=0

***Fuente*. Datos tomados de Boyacioglu (2007).**

La agregación de subíndices se realizó utilizando el método de suma ponderada. Los factores tomados en cuenta para el proceso de asignación se resumen como:

Cuadro 11. Ponderaciones asignadas a cada parámetro

Parámetro	Peso ponderado (W_i)
Coliformes totales	0.114
Cadmio	0.086
Cianuro	0.086
Mercurio	0.086
Selenio	0.086
Arsénico	0.113
Fluoruros	0.086
Nitratos	0.086
Oxígeno disuelto	0.114
pH	0.029
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.057
Fosforo	0.057

***Fuente*. Datos tomados de Boyacioglu (2007).**

La función de agregación se representa como:

$$ICA = \sum_{i=1}^{n} W_i I_i \qquad \text{... (6)}$$

donde:

W_i = Peso del enésimo parámetro (según Cuadro 13)

I_i = subíndice del enésimo parámetro (representado por "y" en el Cuadro 10)

De acuerdo con el resultado final, se podrá evaluar el índice de calidad según el Cuadro 12.

Cuadro 12. Calificación de la calidad del agua según el método ICA – Universal

Rango ICA	Interpretación ICA
95-100	Excelente
75-94	Bueno
50-74	Regular
25-49	Marginal
0-24	Pobre

***Fuente*. Datos tomados de Boyacioglu (2007).**

g. Índice de Calidad de Agua – Idaho

El índice se aplicó a la cuenca hidrográfica Big Lost River en Idaho, y los resultados dieron una imagen cuantitativa de la situación de la calidad del agua. El índice consta de variables de calidad del agua: Oxígeno Disuelto, Conductividad Específica, Turbidez, Fósforo Total y Coliformes Fecales. El objetivo fue definir un nuevo índice de calidad del agua que tenga ventajas sobre índices anteriores. Si el nuevo índice de calidad del agua para el agua deteriorada es menor que un cierto número, es posible que se necesite una remediación, probablemente en forma de cargas máximas diarias o cambiando las prácticas de manejo. (Said, 2004)

El cálculo de este ICA está dado por la siguiente ecuación:

$$ICA = \frac{OD^{1.5}}{(3.8)^{F}\ (TB)^{0.15}(15)^{CF/10000} + 0.14\ (C)^{0.5}} \qquad \text{... (7)}$$

Donde:
OD es el oxígeno disuelto (en % Saturación de Oxígeno), TB es la Turbidez (en NTU), F es el total de Fosfatos (en mg/L), CF son los Coliformes Fecales (conteo/100mL) y C es la conductividad en (uS/cm) a 25 °C.

El índice fue diseñado para variar de 0 a 3. El valor máximo o ideal de este índice es 3 (aguas muy buenas que tienen Oxígeno Disuelto al 100%, sin TP, sin coliformes fecales, turbidez de menos de 1 NTU y

conductividad específica menor de 5 µS/cm), el valor de este índice será 3. De 3 a 2, el agua es aceptable, y menos de 2 es marginal y se necesita una remediación. Si una o dos variables se han deteriorado, el valor de este índice será menor que 2. Si la mayoría de las variables se han deteriorado, el índice es menor que 1, lo que significa que la calidad del agua es baja. (Said, 2004)

Cuadro 13. Calificación de la calidad del agua según el método ICA – Idaho

Rango ICA	Interpretación ICA
3	Buena
2 - 3	Aceptable
< 2	Marginal

***Fuente*. Datos tomados de Said (2004).**

2.2.4. Cálculo del ICA (Uso del software ICATest v1.0®)

ICATest v1.0® es un software que ha sido diseñado para orientar a todos los niveles: Desde expertos hasta a público en general, en la evaluación de cualquier tipo de recurso hídrico, y de esta manera expresar el resultado de una manera sencilla. Es una herramienta computacional, que simplifica el cálculo y presenta un abanico de índices, organizados por autor y/o país. El software ICATest fue desarrollado en la Universidad de Pamplona, (Fernández, Ramos, & Solano, 2004)

2.2.5. Análisis estadístico empleado

a. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación está definido como la relación entre la desviación estándar y la media aritmética de los datos. (Gutiérrez, 2012)

Ha resultado ser una medida de dispersión de amplia utilización, cuando se pretende comparar la dispersión entre varias poblaciones de una o diferentes variables medidas en la misma o diferentes escalas (Ramiro & Caballero, 2011). Es utilizado frecuentemente como una medida para estimar la validez de los ensayos (Gordon & Camargo, 2015). Se

recomienda no utilizar el coeficiente de variación cuando la variable tiene valores negativos o cuando la media es próxima a cero (Escobar, 1998)

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Cuenca hidrográfica del río Rímac

Ubicado en la zona central del Perú y tiene como curso principal al río del mismo nombre. La cuenca del río Rímac pertenece hidrográficamente a la vertiente del Pacífico. Las coordenadas geográficas de la cuenca son las siguientes. (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

- Latitud: 11º 36' 52" S y 12º 05' 47" S
- Longitud: 76º 11' 05" O y 77º 04' 36" O.

Se origina en la Cordillera Central de los Andes y su recorrido es perpendicular hasta el Océano Pacífico. Tiene un área de 3503.95 km^2 y de longitud lineal de 127.02 km. La parte húmeda es aproximadamente 2303.1 km^2. El mapa hidrográfico se muestra en la Figura 1. (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

Las precipitaciones estacionales en la parte alta originan el escurrimiento natural del río. En los meses de estiaje (junio a noviembre), disminuye considerablemente su caudal. Las características del paisaje que representa, contribuyen a la severidad de su estiaje; sin embargo, los nevados en la cuenca alta contribuyen a aumentar el caudal de estiaje con el deshielo. Los regímenes de descargas del río Rímac tienen gran similitud a la mayoría de los ríos de la vertiente del Pacífico, con descargas torrentosas e irregulares. (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

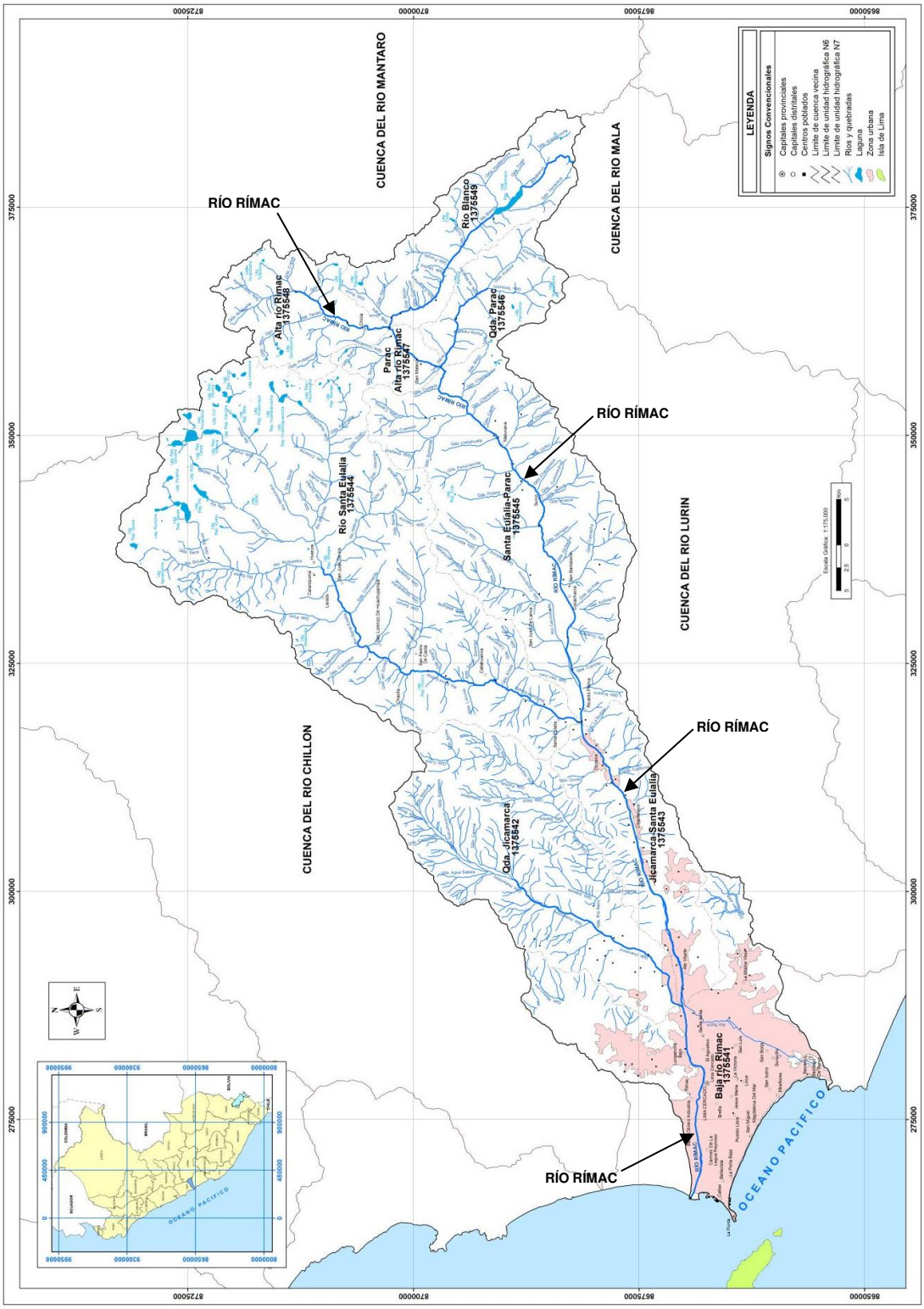


***Figura 1*. Mapa hidrográfico del río Rímac. Fuente. Autoridad Nacional del Agua (2012).**

3.2. Ubicación política

Se ubica en el departamento de Lima (provincias de Lima y Huarochirí) y el departamento de Junín (provincia de Yauli). (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

3.3. Demarcación administrativa

La entidad administrativa es la Administración Local de Agua (ALA) Chillón-Rímac-Lurín. (Autoridad Nacional del Agua, 2010)

Cuadro 14. Ubicación política en la cuenca del río Rímac

Departamento	Provincia	Distrito	Superficie (Km^2)	Porcentaje
Callao	Callao	Bellavista	4,3	0,1
		La Perla	2,9	0,1
		Callao	20,5	0,6
		Carmen de la Legua Reynoso	1,8	0,1
		La Punta	0,6	0
Lima	Lima	Ate	83,2	204
		Independencia	0,3	0
		Breña	2,8	0,1
		La Molina	48,6	1,4
		Chaclacayo	41,3	1,2
		Barranco	3	0,1
		Jesús María	4,1	0,1
		Chorrillos	2,6	0,1
		San Juan de Miraflores	1,8	0,1
		Cieneguilla	33,4	1
		La Victoria	9,4	0,3
		Comas	0,2	0
		Magdalena del mar	3,7	0,1
		El Agustino	12,9	0,4
		Lurigancho	248,2	7,1
		Lince	2,8	0,1
		Magdalena vieja	4,6	0,1
		Lima	21,9	0,6
		Miraflores	9,2	0,3
		Pachacamac	3,4	0,1
		San Martin de Porres	9,6	0,3

		San Juan de Lurigancho	139,9	4
		San Isidro	8,8	0,3
		San Miguel	10,2	0,3
		San Luis	3,7	0,1
		Santiago de Surco	28	0,8
		San Borja	10,3	0,3
		Surquillo	4,6	0,1
		Santa Anita	11	0,3
		Rímac	12,2	0,3
		Carampoma	231,2	6,6
		Callahuanca	50,7	1,4
		Huachupampa	78,6	2,2
		Chicla	230,5	6,6
		Huanza	232,8	6,6
		Laraos	119,1	3,4
		San Andrés de Tupicocha	20,6	0,6
		Matucana	179,8	5,1
		San Antonio	431,6	12,3
		Ricardo palma	36,3	1
	Huarochirí	Surco	106,3	3
		San Bartolomé	42,6	1,2
		San Damián	0,9	0
		Santiago de Tuna	22,1	0,6
		San Juan de Iris	127,7	3,6
		Santa Cruz de Cocachacra	33,1	0,9
		San Mateo	416,7	11,9
		Santa Eulalia	116,3	3,3
		San Mateo de Otao	135,5	3,9
		San Pedro de Casta	82,6	2,4
Junín	Yauli	Marcapomacocha	3,1	0,1
Total			**3503,9**	**100**

***Fuente*. Autoridad Nacional del Agua (2010).**

3.4. Diagnóstico general de la calidad del agua del río Rímac

Consistió en recopilar información general acerca del monitoreo de calidad de agua en la cuenca (Anexo 2). La finalidad de elaborar este diagnóstico fue determinar los parámetros de interés de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental de Agua (ECA – Agua).

La data recolectada de calidad de agua se realizó en base a los siguientes informes técnicos realizados por la Autoridad Nacional del Agua – ANA:

- Informe Técnico N° 006-2012-ANA-DGCRH/JJOS.
- Informe Técnico N° 072-2014-ANA-DGCRH/RATQ.
- Informe Técnico N° 020-2014-ANA-DGCRH/GOCRH.
- Informe Técnico N° 085-2015-ANA-DGCRH/GOCRH.
- Informe Técnico N° 083-2016-ANA-AAA.CF/SDGCRH.

Dichos informes técnicos se encuentran detallados en el Anexo 2.

3.4.1. Parámetros de interés

Para la determinación de los parámetros de manera sintética, dividieron en 4 grupos: parámetros "in situ", parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y parámetros microbiológicos. En dicha síntesis fueron determinados los parámetros de interés. La interpretación independiente de cada parámetro de calidad de agua se ubica en el Anexo 2.

a. Medición de parámetros "in situ"

Comprende el análisis de 4 parámetros, que fueron medidos en campo, conjuntamente con la toma de muestras (temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica y oxígeno disuelto). Estos describen un comportamiento de estabilidad promedio, entre alzas y bajas, en donde se tiene como principal característica de afectación la actividad minera ubicada en las proximidades de las estaciones iniciales del recorrido analizado. Dentro de estas descripciones, se destacó la Temperatura como parámetro de interés por sus múltiples variaciones a lo largo del recorrido del río.

b. Determinación de parámetros fisicoquímicos

Según los análisis elaborados, para los parámetros fisicoquímicos, estos describen un comportamiento en promedio con tendencia a la estabilidad; sin embargo, para ciertos elementos y estaciones se evidenciaron variaciones muy marcadas de alza y tendencias lineales distintas según el año de medición. Igualmente, se tiene como principal característica de afectación la actividad minera, ubicada en las proximidades de las estaciones iniciales del

recorrido. Dentro de estas descripciones se destacaron el Fósforo total, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitrógeno total, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos totales, Aluminio, Arsénico, Cadmio, Hierro, Manganeso y Plomo como parámetros de interés, al exceder el ECA – Agua, principalmente en las estaciones próximas a su desembocadura.

c. Determinación de parámetros inorgánicos

Se describen los siguientes parámetros: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Berilio, Boro, Cadmio, Cobalto, Manganeso, Cromo, Cobre, Hierro, excepto Plomo y Zinc. De los cuales, tenemos que los parámetros: Antimonio, Berilio, Mercurio, Níquel y Selenio, presentan concentraciones inferiores al límite detectable según el método de ensayo. Por otra parte, el aluminio, arsénico, boro, hierro y plomo presentan valores que superan el ECA – Agua mayormente durante el año 2012, con una tendencia a disminuir en los siguientes años.

d. Determinación de parámetros microbiológicos

Comprende el análisis del parámetro Coliformes Termotolerantes. Se observó, según los análisis realizados, una evidente tendencia al alza en el trayecto de las diferentes estaciones, teniendo como principal afectación para estos resultados, descargas de origen doméstico de diferentes poblaciones cercanas al río, lo cual mantiene y eleva el índice de Coliformes Termotolerantes aguas abajo. Se consideró un parámetro de interés al exceder el ECA – Agua en todas las estaciones, para todo el periodo analizado (2012-2016).

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

El presente capítulo describe la metodología a utilizar para elegir un índice adecuado; sin embargo, el análisis realizado en esta metodología ha sido en la cuenca baja, por representar mayores índices de contaminación.

Para tal fin, esta investigación se dividió en 3 fases:

- La primera fase consiste en la selección de métodos para calcular un ICA, que involucren principalmente, el análisis de los parámetros de interés en el río Rímac, dicho criterio se sustenta en el diagnóstico de la calidad del agua en el río Rímac.
- En la segunda fase se realiza el cálculo de los Índices de Calidad de Agua (ICA) seleccionados previamente. Siendo primordial recolectar los parámetros requeridos por cada ICA; sin embargo, algunos parámetros tuvieron limitaciones para obtenerse en estudios previos. Por tanto, fue conveniente realizar un cálculo teórico, a fin de completar los datos y calcular los ICA eficientemente. Posteriormente, se utiliza el software ICATest v1.0® y hojas de cálculo para hallar los ICA correspondientes.
- La tercera fase se realiza una vez obtenido todos los parámetros requeridos y calculados los ICA seleccionados, se procede a interpretar cada uno de ellos mediante 3 criterios: Análisis estadístico, accesibilidad a los parámetros requeridos y finalmente la evaluación de parámetros utilizados en el ICA. Los cuales nos permitirán elegir el Índice más apropiado para el río Rímac.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, en la Figura 2 se muestra el diseño metodológico.

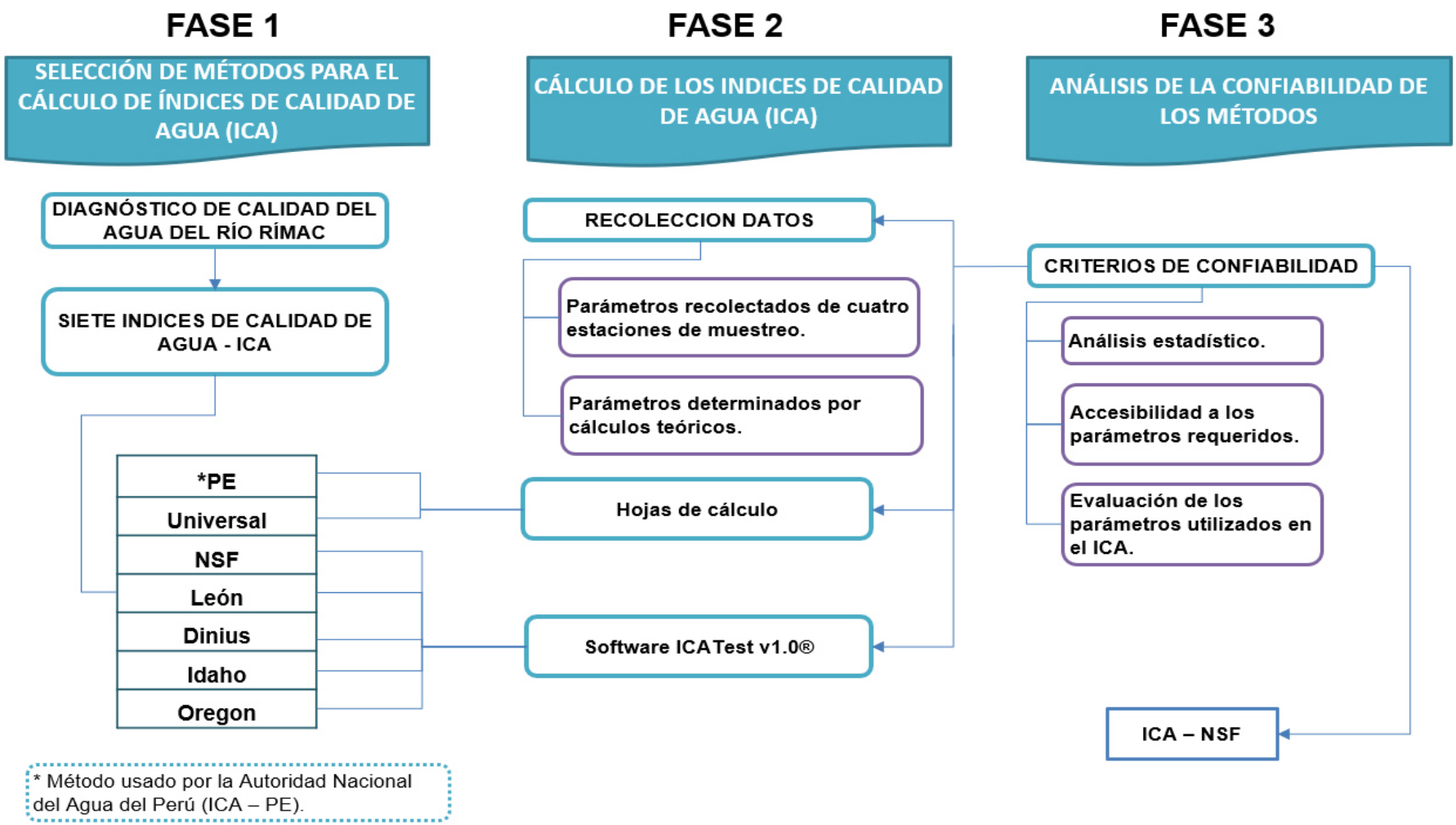


Figura 2. Diseño metodológico. ***Fuente.*** **Elaboración propia**

4.1. FASE 1. Selección de métodos para el cálculo de Índices de Calidad de Agua (ICA)

Los estudios describieron una cantidad numerosa de métodos, por lo que tuvo que establecerse criterios de selección entre ellos. Determinando que el aspecto más importante para identificar los posibles métodos para el cálculo de un ICA es: Incluir al menos dos (2) parámetros de interés. Éstos se calcularon en base a los parámetros excedidos de acuerdo a la normativa nacional peruana (Estándar de Calidad de Agua – ECA Agua). Los parámetros excedidos se describen en el Diagnóstico de la calidad del agua en el río Rímac (Anexo 2). De acuerdo a lo mencionado, se obtuvieron un total de 7 métodos:

Cuadro 15. Descripción de cada Índice de Calidad de Agua (ICA)

ICA	Descripción del método
PE	Está definido en función de la subcategoría del Estándar de Calidad del Agua – ECA Agua (ver Cuadro 3). De esta manera, el cálculo final estuvo compuesto por tres factores (F_1, F_2 y F_3) dando como resultado un vector que indica el resultado final, que fue un número que oscila entre 0 y 100.
Universal	Son doce (12) el número de parámetros de calidad de agua, el cual a cada parámetro le corresponde un peso específico mayor o menor en función a su importancia. Cada subíndice del i-ésimo parámetro se obtiene mediante una función. Finalmente, el ICA se obtuvo mediante un promedio aritmético ponderado.
NSF	Son nueve (9) el número de parámetros de calidad de agua, el cual a cada parámetro le corresponde un peso específico mayor o menor en función a su importancia. Cada subíndice del i-ésimo parámetro se obtiene mediante curvas de función. Finalmente, el ICA se obtiene mediante un promedio aritmético ponderado.
León	Son quince (15) el número de parámetros de calidad de agua, el cual a cada parámetro le corresponde un peso específico mayor o menor en función a su importancia. Cada subíndice del i-ésimo parámetro se obtiene mediante una función. Finalmente, el ICA se obtiene mediante un promedio geométrico ponderado.

Dinius	Son doce (12) el número de parámetros de calidad de agua, el cual a cada parámetro le corresponde un peso específico mayor o menor en función a su importancia. Cada subíndice del i-ésimo parámetro se obtiene mediante una ecuación. Finalmente, el ICA se obtiene mediante un promedio geométrico ponderado.
Idaho	Son cinco (5) el número de parámetros de calidad de agua, por cada parámetro se desarrolla una ecuación; y a partir de ello, se obtiene el ICA.
Oregon	Son ocho (8) el número de parámetros de calidad de agua, el cual a cada parámetro le corresponde un peso específico mayor o menor en función a su importancia. Cada subíndice del i-ésimo parámetro se obtiene mediante una curva de función. Finalmente, el ICA se obtiene mediante un promedio aritmético ponderado.

***Fuente*. Elaboración propia.**

4.2 FASE 2. Cálculo de los Índices de Calidad de Agua (ICA)

Se procedió a recolectar los parámetros necesarios para llevar a cabo el cálculo de los Índices de Calidad de Agua (ICA) seleccionados y a partir de ello, calcular teóricamente los parámetros que tuvieron limitaciones en obtenerse. Posteriormente, se utilizará el software ICATest v1.0® y hojas de cálculo para calcular los Índices correspondientes.

4.2.1. Parámetros recolectados de cuatro estaciones de muestreo

Los parámetros recolectados corresponden al mes de abril del año 2017 (LAMSAC, 2017), estos datos permitieron obtener el ICA más actualizado a diferencia del diagnóstico, que tiene información de años previos. Así mismo, las estaciones se ubican en la cuenca baja del río Rímac (ver Cuadro 16) por ser la zona con mayor vulnerabilidad ante acciones que afecten la calidad del agua.

Las cuatro estaciones se ubican en la ciudad de Lima, en el tramo final, próximo a su desembocadura en el Océano Pacífico, la ubicación de las estaciones se encuentra en la Figura 3.

Cuadro 16. Ubicación de estaciones de muestreo para el cálculo del ICA

Estación de Muestreo	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 18		Descripción
	Este	Norte	
AS-ESP-02	277702	8668307	Ubicado a 100 metros aproximadamente del Puente del Ejercito.
AS-ESP-01	277586	8668289	A 20 metros aproximadamente de la salida del túnel Línea Amarilla, hacia el Este.
AS-03	274697	8668803	Ubicada en la margen izquierda del río, en la calle Mateo Aguilar, cerca de la caseta. Aguas arriba del puente universitaria.
AS-04	273474	8668623	Ubicada en la margen izquierda del río, cerca de la caseta y parque. Aguas abajo del puente universitaria.

***Fuente*. Datos tomados de LAMSAC (2017).**

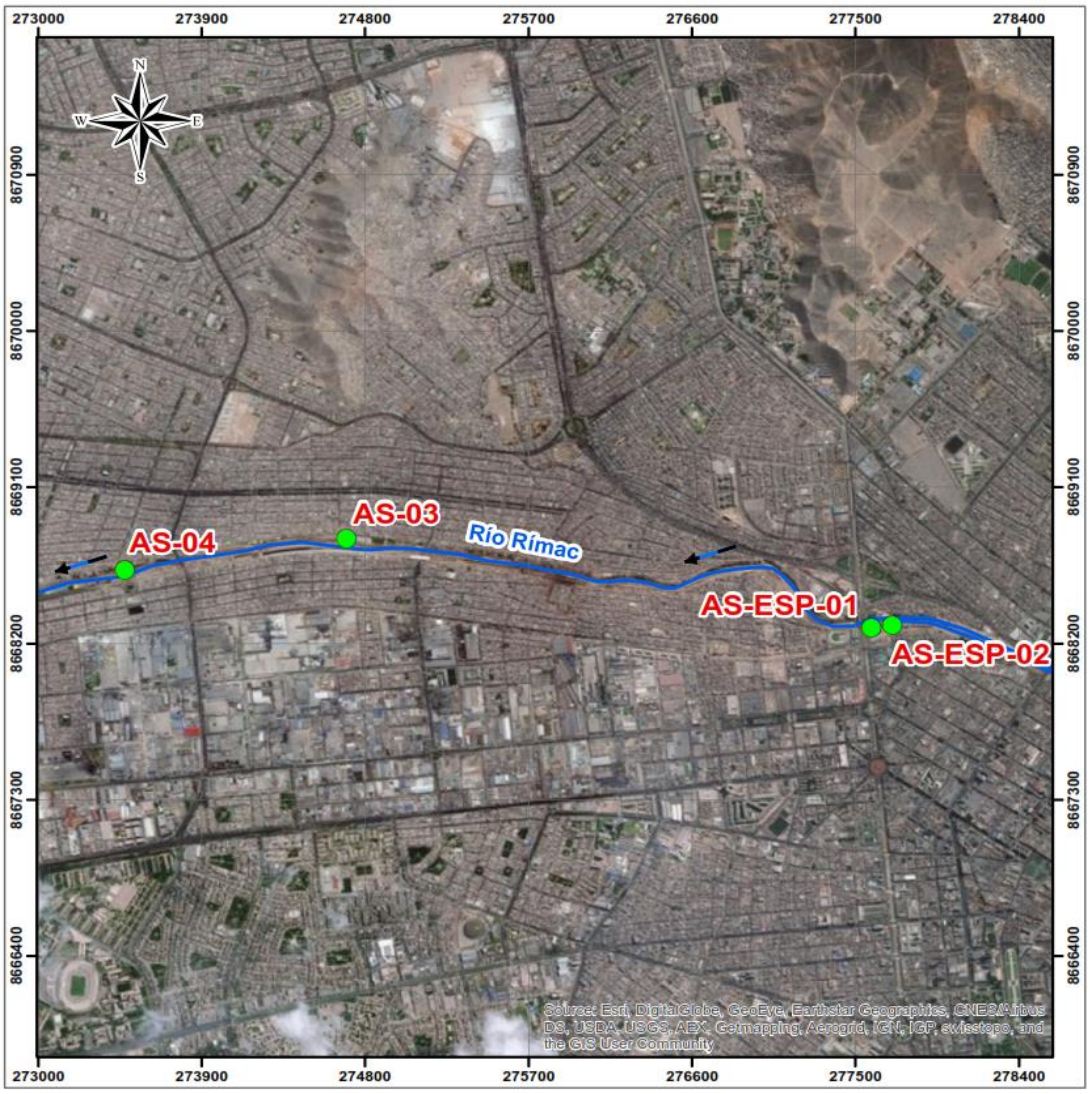


***Figura 3*. Ubicación de las estaciones de muestreo de calidad de agua. Fuente. Elaboración propia.**

	
Estación AS-ESP-01	Estación AS-ESP-02
	
Estación AS-03	Estación AS-04

***Figura 4*. Galería fotográfica del monitoreo.**

Fuente. LAMSAC (2017)

4.2.2. Parámetros determinados por cálculos teóricos

Para completar los datos requeridos por el ICA, fue necesario obtener, mediante cálculo teórico, los siguientes parámetros: Alcalinidad, % de saturación de oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica a 25 °C, diferencia entre la temperatura de la muestra y la temperatura ambiental, dureza, turbiedad y sólidos totales. Dicho cálculo teórico se desarrolla a partir de los resultados en las estaciones de muestreo (ver Cuadro 17).

Cuadro 17. Cálculos teóricos de parámetros de calidad de agua

Parámetro a calcular	Parámetros requeridos	Cálculo teórico	Fuente de información
Alcalinidad	▪ Bicarbonatos. ▪ Carbonatos.	*Alcalinidad (mg/L) = [(Carbonatos* / 50.044) x 60.008] + [Bicarbonatos* / 50.044) x 60.008]* *Unidades en mg/L.	▪ Métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales. (American Public Health Association, 2005)
% de saturación de oxígeno disuelto	▪ Altitud de la estación de la toma de muestra. ▪ Temperatura de la muestra.	$\% \, Saturación = \frac{100 \, x \, OD}{Cp}$ C_P = Constante de equilibrio del oxígeno a presión no estándar.	▪ El contenido de oxígeno de aguas saturadas de aire sobre rangos de temperatura y presión atmosférica de interés limnológico. (Mortimer, 1981)
Conductividad a 25 °C	▪ Conductividad eléctrica.	$Conductividad_{25\,°C} = K \, x \, Conductividad$ K = factor de ajuste para reportar a 25 °C.	▪ Análisis limnológicos. (Wetzel & Likens, 2000)
Dureza	▪ Calcio. ▪ Magnesio.	*Dureza (m/L) = (Calcio* + Magnesio*) x 50* *Unidades en miliequivalentes (mEq).	▪ Métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales. (American Public Health Association, 2005)

Turbiedad	▪ Sólidos Suspendidos Totales.	$Turbiedad\ (mg/L) = Sólidos\ Suspendidos\ Totales^{*} / 1.14$ *Unidades en mg/L.	▪ Turbidez y sólidos en suspensión de las aguas de escorrentía. (Murillo, 2009)
Sólidos Totales	▪ Sólidos Disueltos Totales. ▪ Sólidos Suspendidos Totales.	$Sólidos\ Totales\ (mg/L) = Sólidos\ Disueltos\ Totales^{*} + Sólidos\ Suspendidos\ Totales^{*}$ *Unidades en mg/L.	▪ Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. (NMX-AA-034-SCFI-2015, 2016)

***Fuente*. Elaboración propia.**

4.2.3. Uso del software ICATest v1.0® y las hojas de cálculo

El cálculo de los diversos índices se realizó de 2 maneras. La primera forma fue de acuerdo al ICATest v1.0®, donde se calculó la mayoría los ICA. La segunda forma se halló mediante hojas de cálculo, debido a que el software no abarcó la diversidad de métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) elegidos para esta investigación.

Los métodos calculados por el ICATest v1.0® fueron los siguientes:

- Índice de Calidad de Agua – NSF.
- Índice de Calidad de Agua – León.
- Índice de Calidad de Agua – Dinius.
- Índice de Calidad de Agua – Idaho.
- Índice de Calidad de Agua – Oregon.

Los métodos calculados mediante las hojas de cálculo fueron los siguientes:

- Índice de Calidad de Agua – PE.
- Índice de Calidad de Agua – Universal.

a. Procedimiento mediante el software ICATest v1.0®

La interfaz del software utilizado es simple y práctica. A continuación, se muestra el menú principal (Figura 5), donde solo basta hacer un clic el índice de interés para proceder al cálculo automático.

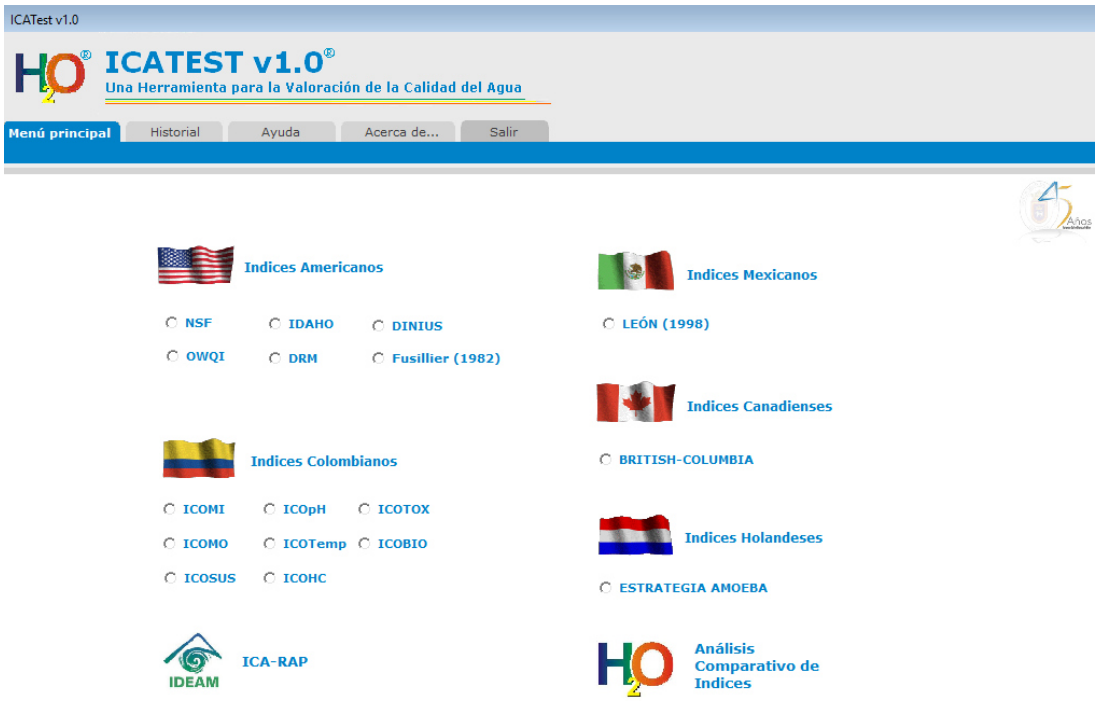


***Figura 5*. Interfaz del ICATest v1.0®. Elaboración propia.**

Una vez elegido el ICA que para fines didácticos será el Índice de Calidad de Agua - Fundación Nacional de Saneamiento (ICA – NSF). En la figura 6 se detallan los procedimientos para el cálculo de un método a elegir. Se completa la fecha y hora del monitoreo, así como el lugar y el analista que realizó el muestreo (número 1). Después se procedió a completar de acuerdo a cada parámetro el resultado obtenido del muestreo (número 2). Una vez completados los datos se hace clic en calcular (número 3). El ICA se muestra detallado en el cuadro de resultados (número 4). Finalmente se hace clic en exportar (número 5), en donde se exportan a los resultados. Para la presente investigación, dichos cálculos se encuentran en el anexo 1.

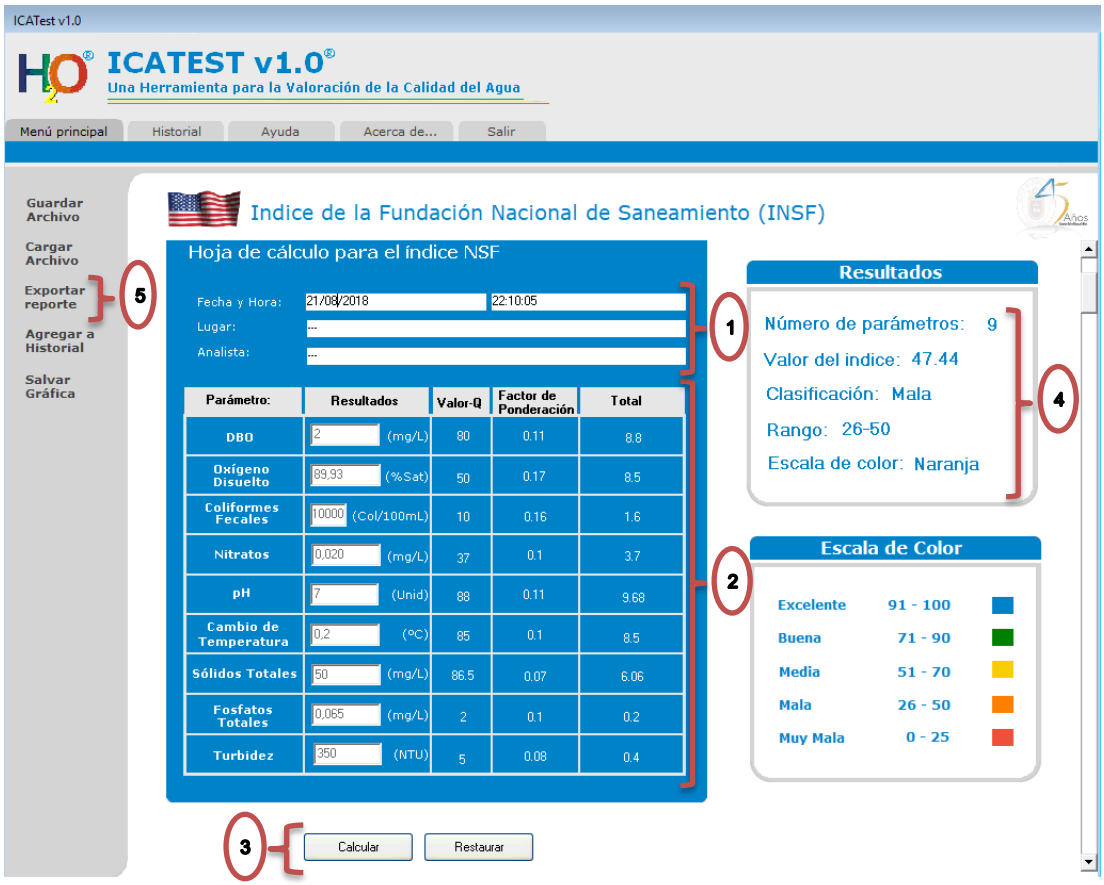


Figura 6. **Pasos para hallar de cada método de Índice de Calidad de Agua (ICA). Elaboración propia.**

b. Procedimiento mediante hojas de cálculo

Dicho procedimiento se realizó de acuerdo a la metodología detallada en el acápite 2.3.3. Por ejemplo, en la Figura 7 se muestra una hoja de cálculo utilizada para el método del ICA – Universal (ICAU). Para proceder al cálculo del método seleccionado solo basta digitar la concentración reportada en el muestreo (número 1), según cada parámetro que se haya elegido, dando como subresultado final en la columna 7 (número 2). Para elegir la fila correcta deberá elegirse en función al rango establecido en la columna 3. Es decir, si el parámetro nitratos reporta una concentración de 5.19 mg/L, se deberá elegir la segunda fila (rango 5< X<=10).

Indice de Calidad de Agua - Universal

Fecha: 11/04/2017
Hora: 12:25
Lugar: AS-01-ESP

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN REPORTADA	RANGO ESTABLECIDO DE ACUERDO A CONCENTRACIÓN	SUB-INDICE	PESO	SUBTOTAL	SUB. FINAL
Demanda Bioquímica de Oxígeno	<2,0	X<3	100	0.057	5.7	5.7
		3<=X<5	175	0.057	9.975	
		5<=X<7	162.5	0.057	9.2625	
		X>=7	0	0.057	0	
Nitratos		X<5	100	0.086	8.6	
	5.19	5<X<=10	98.1	0.086	8.4366	8.4366
		10<X<=20	95	0.086	8.17	
		X>20	0	0.086	0	
Arsénico		X<=0,02	100	0.113	11.3	
	0.04505	0,02<X<=0,05	58.245165	0.113	6.581703645	6.581703645
		0,05<X<=0,1	95	0.113	10.735	
		X>0,1	0	0.113	0	
Oxígeno Disuelto		X>=8	100	0.114	11.4	
	6.84	8>X>=6	71	0.114	8.094	8.094
		6>X>=3	-40	0.114	-4.56	
		X<3	0	0.114	0	
Fluoruros	0.128	X<1	100	0.086	8.6	8.6
		1<X<=2	194.17	0.086	16.69862	
		X>2	0	0.086	0	
Fosforo		X<0,02	100	0.057	5.7	
		0,02<X<=0,16	107.14	0.057	6.10698	
		0,16<X<=0,65	64.694	0.057	3.687558	
	0.717	X>0,65	0	0.057	0	0
Mercurio	<0,00003	X<0,0001	100	0.086	8.6	8.6
		0,0001<X<=0,0005	112.5	0.086	9.675	
		0,0005<X<=0,002	65	0.086	5.59	
		X>0,002	0	0.086	0	
Selenio	<0,0004	X<0,01	100	0.086	8.6	8.6
		0,01<X<=0,02	95	0.086	8.17	
		X>0,02	0	0.086	0	
Cianuro	<0,0006	X<0,01	100	0.086	8.6	8.6
		0,01<X<=0,05	112.5	0.086	9.675	
		0,05<X<=0,1	95	0.086	8.17	
		X>0,1	0	0.086	0	
Cadmio	0.00292	X<0,003	100	0.086	8.6	8.6
		0,003<X<=0,005	175	0.086	15.05	
		0,005<X<=0,01	95	0.086	8.17	
		X>0,01	0	0.086	0	
Coliformes Totales		X<=50	100	0.114	11.4	
	79	50<X<=5000	95.03090467	0.114	10.83352313	10.83352313
		5000<X<=50000	#¡NUM!	0.114	#¡NUM!	
		X>50000	0	0.114	0	
pH	8.07	6,5<=x<8,5	100	0.029	2.9	2.9
		5,5<=x<6,4 AND	50	0.029	1.45	
		8,6<=x<9		0.029		
		X<5,5 AND X>9	0	0.029	0	
					TOTAL	85.5

Figura 7. **Hoja de cálculo referencial elaborada para el Índice de Calidad de Agua – Universal. Elaboración propia.**

4.3 FASE 3. Análisis de confiabilidad de los métodos para hallar el Índice de Calidad de Agua (ICA)

Una vez conseguidos todos los parámetros requeridos y calculados de cada ICA, se procedió a interpretar los resultados mediante 3 criterios: análisis estadístico, accesibilidad a los parámetros requeridos, y evaluación de parámetros utilizados. Los cuales permitieron elegir el método más apropiado para el río Rímac.

4.3.1. Análisis estadístico

Se analizó el coeficiente de variación de las 4 estaciones de muestreo por cada método. Considerando como confiables, aquellos valores que se encuentran en promedio, descartándose valores extremos en las estaciones de muestreo evaluadas.

4.3.2. Accesibilidad a los parámetros requeridos

La accesibilidad a los parámetros necesarios para calcular el ICA, es de vital importancia para hacer factible un monitoreo a largo plazo y al alcance de otros investigadores e incluso, la población, que también podría capacitarse y exigir niveles de calidad del agua adecuados en su zona.

4.3.3. Evaluación de parámetros utilizados en el ICA

El diagnóstico de la calidad del agua nos permitió identificar parámetros prioritarios para calcular el ICA con resultados más cercanos a la realidad del río Rímac. Dichos parámetros deben ser analizados en cada método y así determinar el método más apropiado.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 FASE 1. Principales Índices de Calidad de Agua (ICA)

Los siete ICA seleccionados, pueden diferenciarse en dos grupos, los que requieren una cantidad definida de parámetros y los que dependen de otra variable. Siendo el ICA – PE el único cuya cantidad de parámetros depende de la subcategoría del Estándar de Calidad Ambiental – Agua que se utilice (ver Cuadro 3).

Los parámetros para calcular los siete Índices de Calidad de Agua (ICA) elegidos, distribuidos de la siguiente manera:

Cuadro 18. Cantidad de parámetros requerido por ICA

ICA	Número de parámetros utilizados	Parámetros	Rango de Calidad
PE	17	Conductividad, oxígeno disuelto, cloruros, demanda bioquímica de oxígeno, potencial de hidrógeno (pH), arsénico, aluminio, cadmio, boro, cobre, plomo, manganeso, hierro, zinc, mercurio, coliformes termotolerantes y huevos de helmintos.	- Valores de 0 a 100. - Clasificación en 5 rangos.
Universal	12	Potencial de hidrógeno (pH), cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruro, nitratos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, fosforo, y coliformes totales.	
NSF	9	Temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno (pH), sólidos disueltos totales, demanda bioquímica de oxígeno, turbiedad, coliformes fecales, nitratos y fosfatos.	
León	15	Temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno (pH), demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, nitratos, fosfatos, amonios, alcalinidad, dureza, cloruros, fenoles, coliformes fecales y coliformes totales.	
Dinius	12	Temperatura, potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, color, ce, nitratos, alcalinidad, dureza, cloruros, coliformes totales y coliformes fecales.	
Oregon	8	Temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos + amonios, coliformes totales y fosforo.	
Idaho	5	Oxígeno disuelto, turbiedad, fosfatos, coliformes fecales y conductividad específica.	- Valores de 0 a 3. - Clasificación en 3 rangos.

***Fuente*. Elaboración propia.**

Por otra parte, los rangos de calificación son variados de acuerdo a cada método. Sin embargo, los métodos NSF, Oregon, PE y Universal pueden ser divididos en 5 rangos homogenizados (ver Cuadro 19), con una calificación "Excelente", "Buena", Media", "Mala" y "Muy Mala". Mientras que, los métodos Dinius y León, requieren especificar el uso del agua según la ubicación de las estaciones de muestreo, para después establecer la calificación correspondiente (Cuadro 19).

Cuadro 19. Rangos de calificación según los métodos NSF, Oregon, PE y Universal

Interpretación	Índice de Calidad de Agua (ICA)			
	NSF	Oregon	PE	Universal
Excelente	91-100	90-100	95-100	95-100
Buena	71-90	85-89	80-94	75-94
Media	51-70	80-84	65-79	50-74
Mala	26-50	60-79	45-64	25-49
Muy Mala	0-25	<60	0-44	0-24

***Fuente*. Elaboración propia.**

Cuadro 20. Rangos de calificación según los métodos de León y Dinius

Rango	Según los usos de agua	
	ICA – León	ICA – Dinius
	Uso en Agricultura	Uso en Agricultura
90-100	Excelente	No requiere purificación para riego.
80-90	Aceptable	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.
70-80		
60-70	Levemente Contaminada	No requiere tratamiento para la mayoría de cultivos.
50-60		
40-50	Contaminada	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
30-40		
20-30	Fuertemente Contaminada	Uso sólo en cultivos muy resistentes.
10-20	Excesivamente Contaminada	Inaceptable para riego.
0-10		

***Fuente*. Elaboración propia.**

5.2 FASE 2. Cálculo de los Índices de Calidad de Agua (ICA)

5.2.1 Parámetros requeridos para el cálculo de los ICA

Los parámetros in situ son un total de 7 elementos (ver Cuadro 21), de los cuales tenemos a tres (Δ Temp. Muestra – Temp. Ambiental, Conductividad a 25 °C y Saturación de Oxígeno disuelto) que fueron determinados mediante cálculo teórico. Las fórmulas utilizadas se encuentran descritas en el cuadro 17.

Cuadro 21. Valores de los parámetros in situ

Parámetro	Unidad	Estación de muestreo			
		AS-02-ESP	AS-01-ESP	AS-03	AS-04
Temperatura de la muestra	°C	21.9	23.2	22.3	21.8
Δ Temp. Muestra – Temp. Ambiental	°C	0.51	0.79	0.62	1.12
pH	Unidades pH	8.30	8.07	8.12	7.95
Conductividad	µS/cm	650	629	712	725
Conductividad a 25 °C	µS/cm	690.30	651.64	750.45	771.40
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.18	6.84	6.75	6.52
Saturación de Oxígeno disuelto	%	71.75	81.32	78.45	74.91

Fuente. **Datos tomados de LAMSAC (2017).**

Los parámetros fisicoquímicos son un total de 20 elementos (ver Cuadro 22), de los cuales 4 (Alcalinidad, Dureza, Sólidos Totales y Turbiedad) fueron hallados mediante cálculo teórico. Las fórmulas utilizadas se encuentran descritas en el cuadro 17.

Cuadro 22. Valores de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Estación de muestreo			
		AS-02-ESP	AS-01-ESP	AS-03	AS-04
Alcalinidad	mg/L	89.02	88.2	91.15	93.28
Carbonato	mg/L	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6
Bicarbonato	mg/L	107.3	106.3	109.9	112.5
Cianuro Libre	mg/L	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Cloruros	mg/L	12.45	13.34	16.23	15.37
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<2	<2	7	5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	<2	<2	28	22
Dureza	mg/L	195.03	206.97	209.25	215.50
Fenoles	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Fluoruros	mg/L	0.124	0.128	0.138	0.141
Fosfatos	mg/L	0.067	0.083	<0.012	<0.012
Fósforo	mg/L	0.76	0.717	0.207	0.199
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0.006	<0.006	0.485	0.485
Nitratos	mg/L	5.257	5.19	5.748	5.493
Sólidos Totales	mg/L	1173	638	658	697
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	272	284	310	318
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	901	354	348	379
Sulfuros	mg/L	0.0043	0.0107	0.0819	0.0843
Turbiedad	mg/L	910.01	357.54	351.48	382.79

Fuente. **Datos tomados de LAMSAC (2017).**

Los parámetros inorgánicos fueron un total de 13 elementos (ver Cuadro 23), comprendiendo el Arsénico, Cadmio, Mercurio y Selenio.

Cuadro 23. Valores de los parámetros inorgánicos

Estación de muestreo	Unidad	Estación de muestreo			
		AS-02-ESP	AS-01-ESP	AS-03	AS-04
Aluminio	mg/L	8.916	9.732	10.960	9.795
Arsénico	mg/L	0.04265	0.04505	0.05547	0.0559
Boro	mg/L	0.145	0.145	0.162	0.165
Cadmio	mg/L	0.00268	0.00292	0.00345	0.00353
Calcio	mg/L	62.49	66.06	66.07	68.92
Cobre	mg/L	0.06392	0.06792	0.10603	0.10955
Hierro	mg/L	8.887	9.925	12.800	11.340
Magnesio	mg/L	9.512	10.25	10.8	10.59
Manganeso	mg/L	0.38264	0.42507	0.46258	0.46042
Mercurio	mg/L	<0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003
Plomo	mg/L	0.0381	0.0396	0.0508	0.0511
Selenio	mg/L	< 0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Zinc	mg/L	0.4375	0.4658	0.5067	0.5305

Fuente. **Datos tomados de LAMSAC (2017).**

Los parámetros microbiológicos son un total de 2 elementos (ver Cuadro 24), comprendiendo a los Coliformes Fecales y Coliformes Totales.

Cuadro 24. Valores de los parámetros microbiológicos

Estación de muestreo	Unidad	Estación de muestreo			
		AS-02-ESP	AS-01-ESP	AS-03	AS-04
Coliformes Totales	NMP/100 mL	49	79	170000	17000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	<1.8	<1.8	110000	11000

Fuente. **Datos tomados de LAMSAC (2017).**

Una vez obtenidos toda la data necesaria en las cuatro estaciones de muestreo, se procedió con el cálculo de cada Índice de Calidad de Agua (ICA) de acuerdo a cada método elegido.

5.2.2. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – PE

Los resultados del ICA – PE, mostrados en el Cuadro 25, indicaron una calidad "buena" en las estaciones AS-ESP-01 y AS-ESP-02, una calidad "regular" en la estación AS-03 y una calidad "favorable" en la estación AS-04. De acuerdo a lo descrito anteriormente, los valores que arrojaron de acuerdo a cada estación de muestreo estuvieron en función de los parámetros excedidos por Estándar de Calidad de Agua (ECA – Agua). Los parámetros que excedieron el ECA – Agua fueron: Aluminio, Hierro, Magnesio (en todas las estaciones); y Coliformes Termotolerantes (estaciones AS-03 y AS-04).

Cuadro 25. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – PE

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Estaciones de Muestreo			
	AS-ESP-02	AS-ESP-01	AS-03	AS-04
ICA – PE	82.50	82.11	45.46	66.59

Fuente. **Elaboración propia.**

Del mismo modo, se elaboró un gráfico (Figura 8) para una interpretación más adecuada.

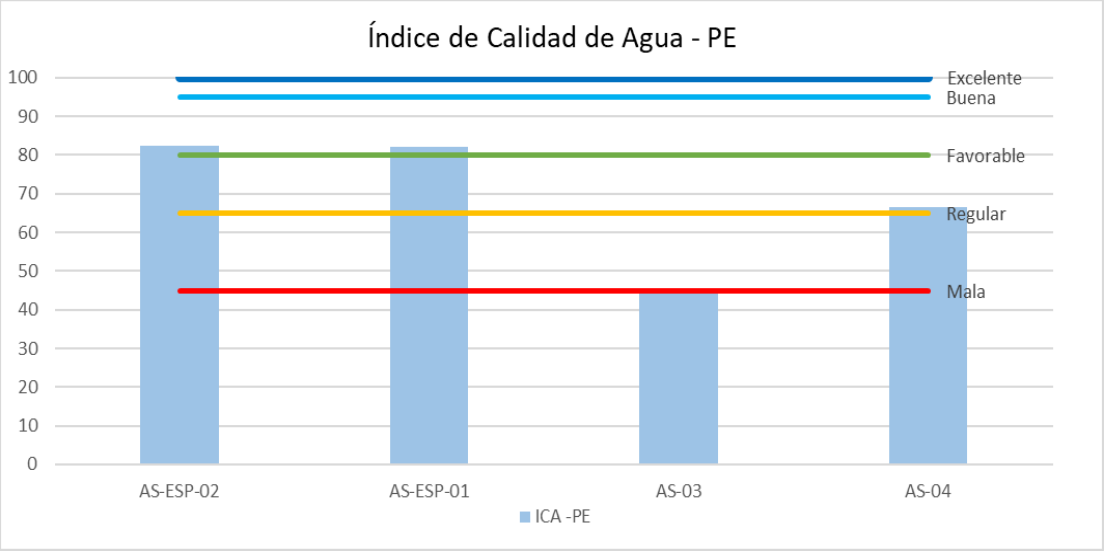


***Figura 8*. Resultados del Índice de Calidad de Agua – PE.**
Fuente. Elaboración propia.

5.2.3. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – Universal

En el Cuadro 26, los resultados del mediante el método ICA – Universal. La calidad del agua es calificada como "buena" en las estaciones de muestreo AS-ESP-02 y AS-ESP-01 y como "regular" en las estaciones AS-03 y AS-04. Se debe tomar en cuenta que este índice consideró los parámetros inorgánicos (fluoruros, mercurio, selenio, cianuro, y en menor medida el arsénico y cadmio), que reflejaron valores muy bajos, influyendo en el resultado final del ICA – Universal.

Cuadro 26. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – Universal

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Estaciones de Muestreo			
	AS-ESP-02	**AS-ESP-01**	**AS-03**	**AS-04**
ICA – Universal	84.62	85.55	68.42	73.33

***Fuente*. Elaboración propia.**

Del mismo modo, se elaboró un gráfico (Figura 9) para una interpretación más adecuada.

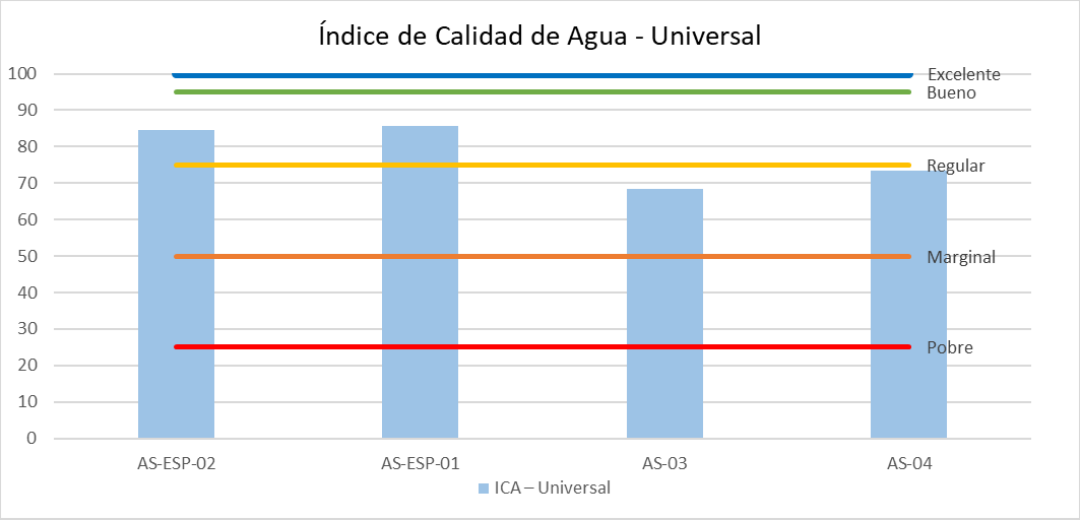


Figura 9. **Resultados del Índice de Calidad de Agua – Universal.**
Fuente. Elaboración propia.

5.2.4. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – NSF

Con el siguiente ICA – NSF, mostrando los resultados en el Cuadro 27, el agua tiene una calidad "buena" en las estaciones de muestreo AS-ESP-02 y AS-ESP-01 y una calidad "media" en las estaciones AS-03 y AS-04. Los parámetros que más incidieron negativamente en el cálculo de este ICA fueron los sólidos totales, coliformes totales y turbidez. De los cuales, el grupo coliformes tiene una marcada tendencia al alza conforme se avanza el recorrido del río.

Cuadro 27. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – NSF

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Estaciones de Muestreo			
	AS-ESP-02	**AS-ESP-01**	**AS-03**	**AS-04**
ICA – NSF	71.81	74.4	55.56	57.74

***Fuente*. Elaboración propia.**

Del mismo modo, se elaboró un gráfico (Figura 10) para una interpretación más adecuada.

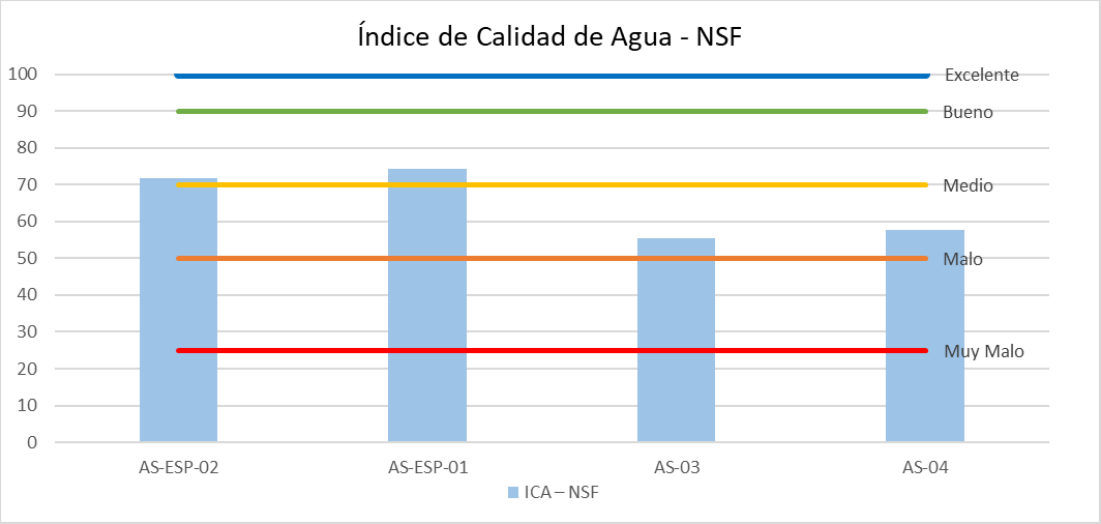


Figura 10. **Resultados del Índice de Calidad de Agua – NSF.**
Fuente. Elaboración propia.

5.2.5. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – León

El cálculo del ICA – León es determinado de acuerdo a la Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales del Perú, el cual lo clasifica como Uso en Agricultura.

De acuerdo a este índice, el agua tiene una calidad "aceptable" en las estaciones de muestreo AS-ESP-02 y AS-ESP-01, y una calidad "levemente contaminada" en las estaciones AS-03 y AS-04. Los parámetros que más inciden negativamente son los coliformes totales, dureza y sólidos suspendidos.

Cuadro 28. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – León

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Estaciones de Muestreo			
	AS-ESP-02	AS-ESP-01	AS-03	AS-04
ICA – León	72.67	74.16	55.61	60.48

***Fuente*. Elaboración propia.**

Del mismo modo, se elaboró un gráfico (Figura 11) para una interpretación más adecuada.

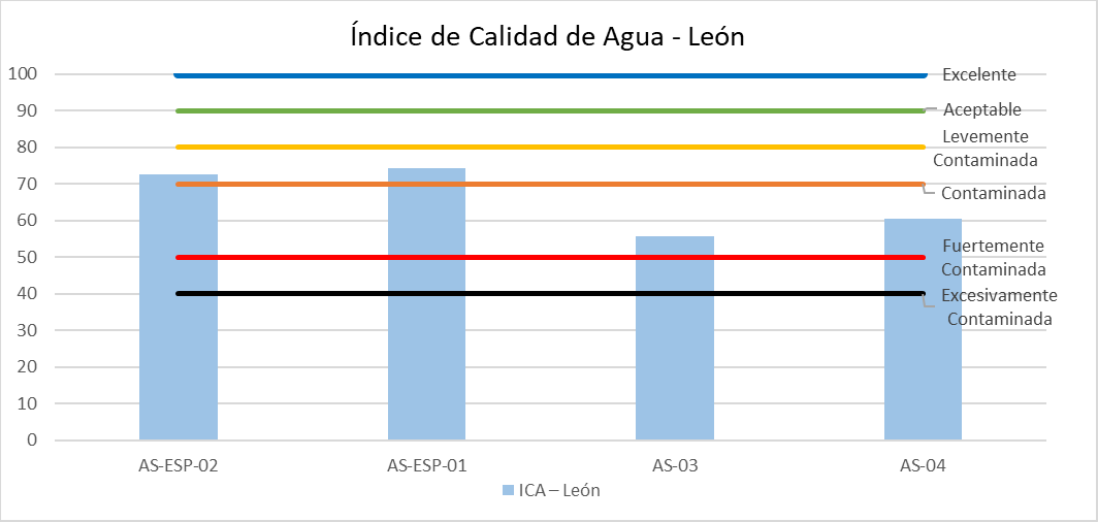


Figura 11. **Resultados del Índice de Calidad de Agua – León.**
Fuente. Elaboración propia.

5.2.6. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – Dinius

El cálculo del ICA – Dinius es determinado de acuerdo a la Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales del Perú, el cual lo clasifica como Uso en Agricultura.

De acuerdo a este índice, la calidad del agua resultante tiene las siguientes condiciones: "Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua" en las estaciones AS-ESP-02 y AS-ESP-01 y "tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos" en las estaciones AS-03 y AS-04, que se muestran en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – Dinius

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Estaciones de Muestreo			
	AS-ESP-02	AS-ESP-01	AS-03	AS-04
ICA – Dinius	74.88	74.57	54.46	56.88

Fuente. **Elaboración propia.**

Del mismo modo, se elaboró un gráfico (Figura 12) para una interpretación más adecuada.

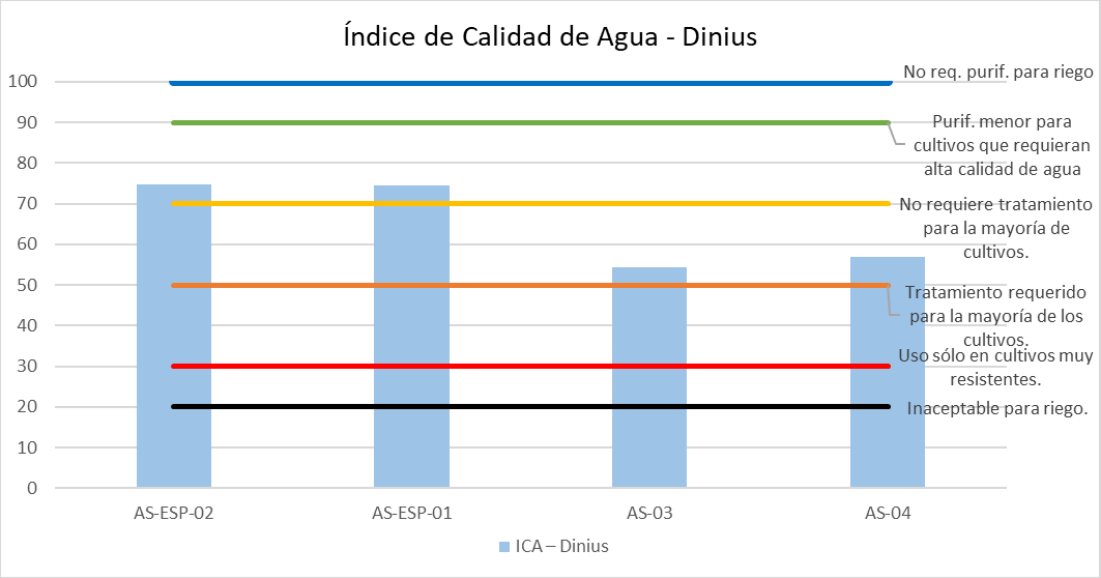


Figura 12. **Resultados del Índice de Calidad de Agua – Dinius.**
Fuente. Elaboración propia.

5.2.7. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – Idaho

Los resultados indican una calidad "marginal" en las todas las estaciones de muestreo (AS-ESP-02 y AS-ESP-01 AS-03 y AS-04). Dichos resultados, mostrados en el Cuadro 30, se calificaron como una calidad "marginal" (resultado final menor a 2). Siendo, los parámetros que más incidieron negativamente en el resultado final de cada estación de muestreo: los coliformes totales, conductividad y turbiedad.

Cuadro 30. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – Idaho

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Estaciones de Muestreo			
	AS-ESP-02	AS-ESP-01	AS-03	AS-04
ICA – Idaho	1.757	1.826	0.966	1.285

***Fuente*. Elaboración propia.**

Del mismo modo, se elaboró un gráfico (Figura 13) para una interpretación más adecuada.

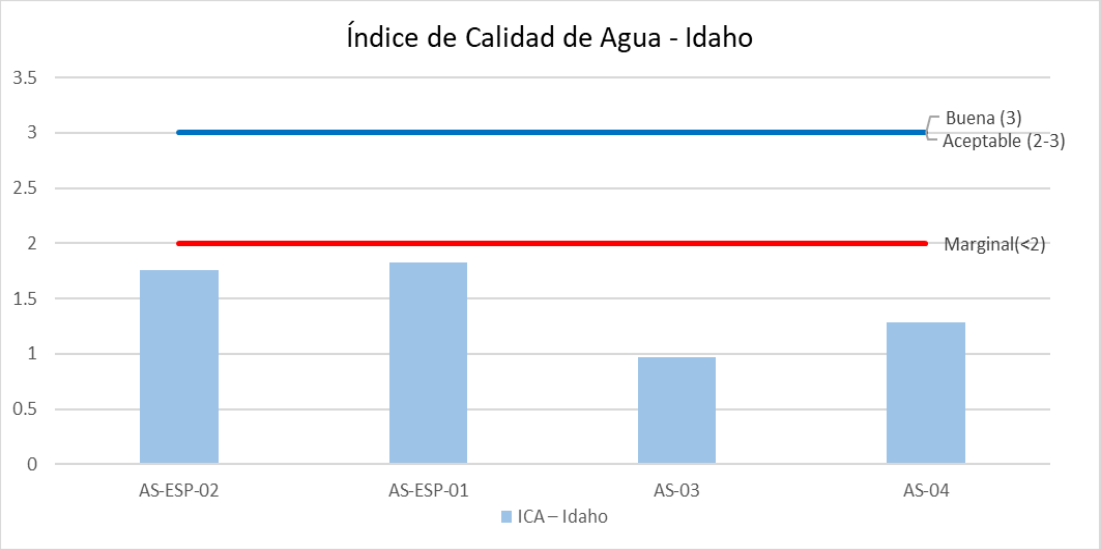


Figura 13. **Resultados del Índice de Calidad de Agua – Idaho.**
Fuente. Elaboración propia.

5.2.8. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – Oregon

El ICA – Oregon indica una calidad "muy pobre" en las todas las estaciones de muestreo (AS-ESP-02, AS-ESP-01, AS-03 y AS-04). Dichos resultados, mostrados en el Cuadro 31, según el presente método, se califican como la peor calidad de agua (resultado final se encuentra en el rango 10 – 59). Siendo, los parámetros que más incidieron negativamente en el resultado final de cada estación de muestreo: demanda bioquímica de oxígeno, los coliformes totales, nitratos + amonio, sólidos totales.

Cuadro 31. Cálculo del Índice de Calidad de Agua – Oregon

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Estaciones de Muestreo			
	AS-ESP-02	**AS-ESP-01**	**AS-03**	**AS-04**
ICA – Oregon	19.48	19.48	15.74	15.97

***Fuente*. Elaboración propia.**

Del mismo modo, se elaboró un gráfico (Figura 14) para una interpretación más adecuada.

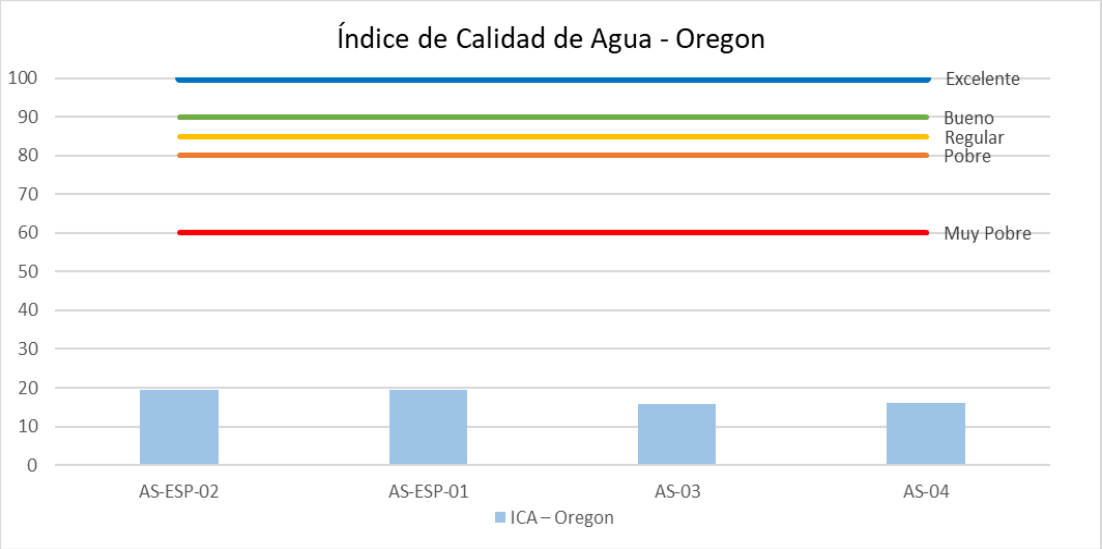


Figura 14. **Resultados del Índice de Calidad de Agua – Oregon.**

Fuente. Elaboración propia.

5.3. FASE 3. Análisis de confiabilidad de los métodos para calcular el Índice de Calidad de Agua (ICA)

El análisis de confiabilidad comprendió 3 aspectos (análisis estadístico, accesibilidad a los parámetros requeridos y evaluación de parámetros utilizados en el ICA). Los mencionados anteriormente se encontraron secuencialmente ordenados para descartar entre los 7 métodos elegidos anteriormente, esto con el fin de elegir el más confiable para el río Rímac.

5.3.1. Análisis estadístico

En el Cuadro 32 y en la Figura 15 se mostró el resumen del cálculo de cada ICA para cada estación. En el caso del ICA – Idaho, los resultados también se convirtieron en porcentaje de 0 a 100 (tomando como referencia que, para dicho ICA, la escala varía de 0 a 3); con el fin de brindar una mejor interpretación, ya que los demás métodos estuvieron en dicha escala.

Cuadro 32. Resultados de los ICA en todas las estaciones

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Estaciones de Muestreo			
	AS-ESP-02	AS-ESP-01	AS-03	AS-04
ICA – PE	82.85	82.11	45.46	66.59
ICA – Universal	84.62	85.55	68.42	73.33
ICA – NSF	71.81	74.4	55.56	57.74
ICA – León	72.67	74.16	55.61	60.48
ICA – Dinius	74.88	74.57	54.46	56.88
ICA – Idaho	1.757 (58.57%)	1.826 (60.87%)	0.966 (32.2%)	1.285 (42.83%)
ICA – Oregon	19.48	19.48	15.74	15.97

***Fuente*. Elaboración propia.**

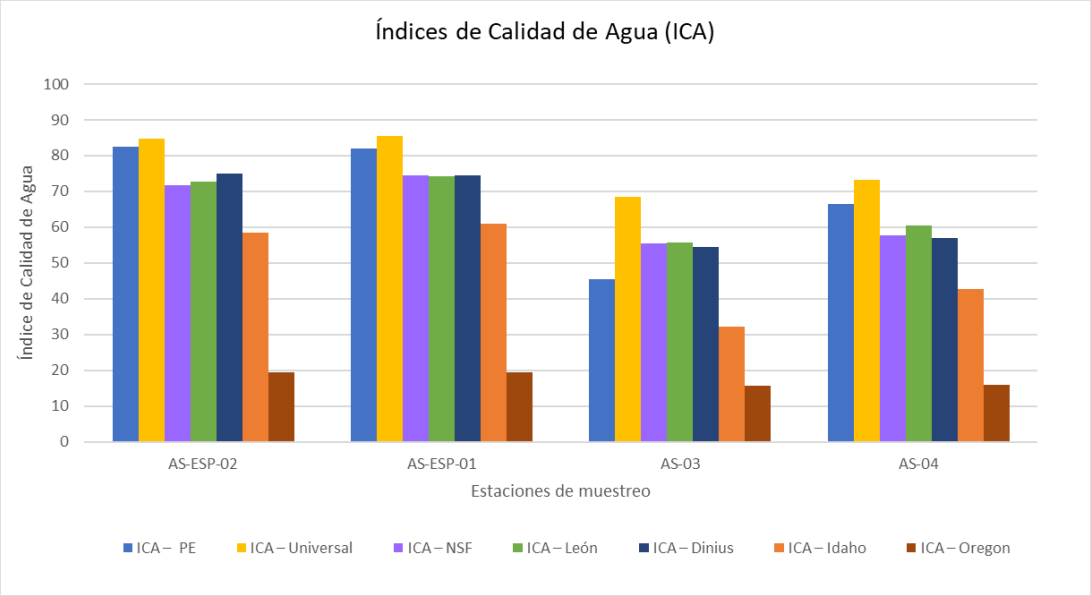


Figura 15. **Resultado comparativo del cálculo de los ICA.**
Fuente. Elaboración propia.

De manera referencial se pudo resumir por cada estación de muestro de manera integral todos los Índices de Calidad de Agua, de acuerdo con los resultados anteriores, mediante un promedio aritmético. Los resultados de dicho promedio en cada estación de muestreo se encuentran en el Cuadro 33.

Cuadro 33. Cálculo promedio del Índice de Calidad de Agua por cada estación de muestreo

Índice de Calidad de Agua (ICA)	**Estaciones de Muestreo**			
	AS-ESP-02	**AS-ESP-01**	**AS-03**	**AS-04**
Valor Promedio	66.41	67.31	46.78	53.40

***Fuente*. Elaboración propia.**

El análisis estadístico para cada Índice de Calidad de Agua (ICA) consistió en el promedio aritmético y posteriormente el cálculo del coeficiente de variación. Siendo los métodos con un menor coeficiente de variación el ICA – Universal, ICA – Dinius, ICA – León y el ICA – NSF, tal como se muestra en el Cuadro 34. Los métodos descartados fueron: ICA – Oregon e ICA – Idaho, que incluyeron la media armónica para el cálculo final, mostrando una mayor sensibilidad, pero fue considerado como un valor extremo muy bajo. Otro valor

extremo pero determinado como muy alto correspondió al ICA – PE, basado en una ecuación única incluyendo 3 subtotales que varían de acuerdo a la norma que se utilice de referencia; para nuestro caso, el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA).

Cuadro 34. Análisis estadístico de los ICA en las estaciones de muestreo

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Estaciones de Muestreo				Media	C.V.
	AS-ESP-02	AS-ESP-01	AS-03	AS-04		
~~ICA – PE~~	82.85	82.11	45.46	66.59	69.25	21.90
ICA – Universal	**84.62**	**85.55**	**68.42**	**73.33**	**77.98**	**9.40**
ICA – NSF	**71.81**	**74.4**	**55.56**	**57.74**	**64.88**	**12.82**
ICA – León	**72.67**	**74.16**	**55.61**	**60.48**	**65.73**	**12.00**
ICA – Dinius	**74.88**	**74.57**	**54.46**	**56.88**	**65.20**	**14.67**
~~ICA – Idaho~~	1.757	1.826	0.966	1.285	1.46	24.16
~~ICA – Oregon~~	19.48	19.48	15.74	15.97	17.67	10.27

***Fuente*. Elaboración propia.**

5.3.2. Accesibilidad a los parámetros requeridos

Respecto a la cantidad de parámetros contabilizados de todos los ICA evaluados para el presente estudio, se estima que en promedio se evalúan 10 parámetros, de los cuales el ICA – NSF y el ICA – Dinius fueron los métodos que más se acercaron a dicha condición.

El Índice de Calidad de Agua (ICA) – PE requiere una cantidad variable de parámetros (de acuerdo a la subcategoría del ECA – Agua). Esta cantidad de parámetros (descritos en el Cuadro 3), fueron: 13, 17, 16, 14 y 18 parámetros por cada subcategoría, dando como resultado un promedio de 15.6 ≈ 16. Se muestra la cantidad de parámetros utilizados en el cuadro 35.

Cuadro 35. Cantidad de parámetros utilizados para el cálculo de un ICA

Índice de Calidad de Agua (ICA)	Cantidad de parámetros empleados
~~ICA – PE~~	16
ICA – Universal	**12**
ICA – NSF	**9**
~~ICA – León~~	15
ICA – Dinius	**12**
~~ICA – Idaho~~	8
~~ICA – Oregon~~	5
Promedio (cantidad de parámetros) = 11	

***Fuente*. Elaboración propia.**

5.3.3. Evaluación de parámetros utilizados en el ICA

Una vez descartados los demás métodos para el cálculo de un ICA restan los métodos NSF, Dinius y Universal. Se realizó una comparación de los parámetros involucrados en cada ICA en función al diagnóstico general de la calidad del agua en el área de estudio.

En resumen, se consideró el ICA – NSF al considerarse todos sus parámetros como relevantes en base a las condiciones naturales del área de estudio:

A. Selección del Índice de Calidad de Agua – Universal

De acuerdo al diagnóstico de la calidad del agua en el río Rímac, el factor de importancia de los parámetros demuestra que de los doce (12) parámetros de calidad considerados en el ICA – Universal, ocho (8) son de relevancia:

El potencial de hidrógeno (pH) y el oxígeno disuelto demuestran resultados en su mayoría uniformes. Por sus características y de las de la cuenca se justifica su importancia en este índice.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno, Fósforo y Nitratos son indicadores de contaminación de origen orgánico; esta característica, ligada a que en la cuenca se registraron picos de contaminación, justifica su importancia como parámetro de relevancia.

De los 12 parámetros en total, 4 parámetros inorgánicos fueron considerados en el análisis: arsénico, cadmio, mercurio y selenio; de los cuales, solo 2 fueron considerados de relevancia, puesto que solo el arsénico (en la mayoría de las estaciones de muestreo de toda la cuenca) presentó picos de concentración y superó el ECA - Agua, mientras que el cadmio en menor medida (año 2012) superó el ECA – Agua. Se puede afirmar que los 2 restantes no se pueden considerar de importancia al registrar valores inferiores al límite detectable.

Respecto a los parámetros de Cianuro y Fluoruros: para el primero, solo se reportaron concentraciones inferiores al límite detectable; y para el segundo, no se obtuvieron registros al no considerarse de importancia.

Un aspecto muy importante de mencionar es que este método no consideró el parámetro temperatura como en los anteriores índices. La consideración de la temperatura de la muestra para el cálculo de un ICA resulta de vital importancia, puesto que la altitud y por ende su temperatura durante el recorrido del río Rímac varía notablemente desde su origen (a más de 4500 m s.n.m.) hasta su desembocadura (océano Pacífico).

Finalmente, del análisis previamente escrito, se determinó prescindir del ICA – Universal debido al número de parámetros descartados y por la no inclusión de la temperatura de la muestra.

B. Selección del Índice de Calidad de Agua – Dinius

De acuerdo al diagnóstico de la calidad del agua en el río Rímac, el factor de importancia de los parámetros demuestra que de los doce (12) parámetros de calidad considerados en el ICA – Dinius, siete (7) son de relevancia:

Los siguientes parámetros: Diferencia entre Temperatura de la muestra – Temperatura ambiental y Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto también fueron dos parámetros de importancia ya que, la temperatura varía básicamente por la altitud donde se encuentre y de parte de la saturación de oxígeno disuelto será de igual manera. Ambos parámetros son de especial consideración puesto que el origen del río Rímac se ubica a más de 4 500 m s.n.m. y su desembocadura a nivel del mar (Océano Pacífico).

El potencial de hidrógeno (pH), de acuerdo al general de la calidad del agua demuestra resultados en su mayoría uniformes, con una muy ligera tendencia a la alcalinidad. El parámetro color no obtuvo registros al no considerarse de importancia.

Los nitratos son indicadores de contaminación de origen orgánico, ya sea por el uso de fertilizantes, por el vertimiento de residuos sólidos o por desechos humanos o animales, por lo tanto, su inclusión e importancia está justificada, aunque sus valores no superen el Estándar de Calidad de Agua establecido.

La demanda bioquímica de oxígeno en las estaciones registró concentraciones que superan el ECA – Agua en las estaciones próximas a la desembocadura y los coliformes totales superan el ECA – Agua en todas las estaciones, por lo que la inclusión de dichos parámetros está justificada.

Finalmente, la conductividad específica, de acuerdo al diagnóstico general de la calidad del agua, demuestra una tendencia de disminución o decrecimiento; mientras que los cloruros, demostraron una ligera tendencia a la elevación de su concentración y posterior disminución en el tramo medio del río. Sin embargo, ninguna superó el Estándar de Calidad Ambiental – Agua, así como tampoco la alcalinidad y la dureza, que fueron calculados indirectamente. Por lo que se determinó descartar dichos parámetros como relevantes para el área de estudio.

C. Selección del Índice de Calidad de Agua – NSF

De acuerdo al diagnóstico de la calidad del agua en el río Rímac, el factor de importancia de los parámetros demuestra que los nueve (9) parámetros de calidad considerados en el ICA – NSF son de relevancia:

En el caso de los siguientes parámetros: Diferencia entre Temperatura de la muestra – Temperatura ambiental y Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto; la Temperatura de la muestra y la temperatura ambiental variaron básicamente por la altitud donde se encuentre y de parte de la saturación de oxígeno disuelto será de igual manera (resultado de la concentración la presión atmosférica, de oxígeno disuelto y su temperatura). Ambos parámetros son muy relevantes, puesto que el origen del río Rímac se ubica a más de 4 500 m s.n.m. y su desembocadura a nivel del mar (Océano Pacífico).

De acuerdo al diagnóstico general de la calidad del agua en el Rio Rímac por el potencial de hidrógeno (pH), demuestra que los resultados se encuentran uniformes, con una muy ligera tendencia a la alcalinidad. La demanda bioquímica de oxígeno se justificó por el hecho que, según el diagnóstico de la calidad del agua, existen reportes de estaciones de muestreo próximas a su desembocadura que superan el Estándar de Calidad de Agua establecido.

Los nitratos y fosfatos totales son indicadores de contaminación de origen orgánico, sea ya por el uso de fertilizantes, por el vertimiento de residuos sólidos o por desechos humanos o animales y adicionalmente el uso de detergentes (para el caso de los fosfatos); por lo tanto, se puede justificar su inclusión de ambos. La turbidez y los sólidos totales se consideran al ser parámetros que están relacionados con la presencia de materiales orgánicos e inorgánicos presentes en el agua.

Finalmente, tenemos cuatro parámetros que superan el Estándar de Calidad de Ambiental – Agua: los coliformes totales, la turbidez, los sólidos totales y la demanda bioquímica de oxígeno. Por lo tanto, dichos parámetros requieren de un monitoreo e inclusión para el análisis en el ICA.

CONCLUSIONES

1. Los principales métodos para el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA) fueron identificados mediante el diagnóstico de la calidad del agua del río Rímac, siendo los siguientes: el ICA – NSF, el ICA – PE, el ICA – Oregon, el ICA – León, el ICA – Dinius, el ICA – Universal y el ICA – Idaho.

2. Los valores del Índice de Calidad de Agua (ICA) del río Rímac, indican en su mayoría que los métodos NSF, León, Dinius e Idaho indican una calidad "regular". Por otra parte, los ICA – PE y Universal indican una calidad de "bueno" a "regular", el ICA – Idaho indica una calidad "marginal" y el ICA – Oregon indica una calidad "muy pobre".

3. El análisis de confiabilidad de los métodos seleccionados determinó que el mejor Índice de Calidad de Agua (ICA) del río Rímac fue el ICA – NSF, puesto que cumple con los criterios establecidos: menor índice de variación, mayor accesibilidad a los parámetros requeridos y evaluación favorable de los parámetros utilizados.

RECOMENDACIONES

1. Realizar mayores investigaciones acerca de los Índices de Calidad de agua (ICA), para obtener métodos actualizados que se ajusten a las actuales condiciones ambientales y antrópicas en el río Rímac.

2. Continuar con la aplicación de nuevos índices que se desarrollen para obtener diversos resultados según el método de cálculo para un Índice de Calidad de Agua (ICA) en el río Rímac.

3. Elaborar un Índice de Calidad de agua (ICA) a partir de un modelo matemático, que se ajuste de manera más apropiada a las características de la calidad del agua en el río Rímac.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbasi, A., & Abbasi, S. (2012). *Water Quality Indices.* Great Britain: Elsevier B.V.

Acevedo, R., & Frías, J. (2018). *Geoethics. In Geoethics In Latin America.* Springer, Cham.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2008). Toxicological profile for aluminum.

Alarcón, B., & Ñique, M. (2016). Índice de calidad del agua según NSF del humedal laguna Los Milagros (Tingo María, Perú). *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 2(2), 98-107.

Alarcón, M., Leal, L., Domínguez, M., Miranda, S., & Benavides, A. (2014). *Arsénico en agua.*

American Public Health Association. (1999). *American Water Works Association, Water Environment Federation.*

American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater.* Washington DC.: 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation.

Autoridad Nacional del Agua . (2018). *Metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos Superficiales en el Perú ICA-PE.* Lima.

Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac* (Vol. Volumen 1). Lima.

Autoridad Nacional del Agua. (2012). *Informe técnico - Resultado del monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del río Rímac.*

Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Segundo monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Rímac.*

Autoridad Nacional del Agua. (2014). *Informe del segundo monitoreo 2014 de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Rímac.*

Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Informe técnico de resultados del primer monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Rímac.*

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Resultado del monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Rímac-2016.*

Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros fisico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión ambiental*, 12-19.

Bedregal, P. (2011). *Evaluación de las aguas del río Rímac en Lima, Perú, utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA).* Lima.

Beita, W. (2008). *Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica.*

Bernex, N., Warner, R., Flores, L., & Oblitas, L. (2004). *Hacia una gestión integrada de los recursos hídricos en el Perú.* ROEL S.A.

Bernhoft, R. (2013). *Cadmium toxicity and treatment.* The Scientific World Journal.

Bharti, N., & Katyal, D. (2011). Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *International Journal of Environmental Sciences*, 154-172.

Boyacioglu, H. (2007). Development of a Water Quality Index Based on a European Classification Scheme,. *Water SA-, Vol. 33*, 101-106.

Brabander, K. d. (1992). *Comparing biological and chemical parameters as complementary tools for the management of river water quality. In: Newman, P.J., et al. eds), River Water Quality, ecological assessment and control.* EEC-publication EUR 14606 EN-FR.

Bratthall, D., Hansel-Petersson, G., & Sundberg, H. (1996). Reasons for the caries decline: what do the experts believe? *European Journal of Oral Sciences*, 104:416-422.

Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). *"Water quality index-do we dare?", Water Sewage Works.*

Brown, R., McLelland, N., Deininger, R., & O'Connor, M. (1972). *A water quality index - crashing the psychological barrier, Indicators of Environmental Quality.*

Calsín, K. (2016). *Calidad Física, Química y bacteriológica de Aguas Subterráneas de Consumo Humano en el Sector de Taparachi III de la Ciudad de Juliaca, Puno.* Puno.

Calvo , G., & Mora, J. (2007). Evaluación y Clasificación de la calidad de agua del Río Tárcoles y el Reventazón. Parte III: Calidad de cuerpos receptores de agua, según el Sistema Holandés de Valoración. *Tecnología en Marcha*, 20 (4): 59-67.

Canadian Council of Ministers of the Environment. (1999). *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Dissolved oxygen (marine). In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment.* Winnipeg.

Canadian Council of Ministers of the Environment. (2001). *Canadian environmental quality guidelines for the protection of aquatic life, CCME water quality index: technical report, 1.0.*

Casallas, D., & Ibañez, K. (2008). *Diseño de un sistema a nivel piloto para la remoción de detergentes aniónicos de una solución preparada con características de una lavandería tipo con el fin de reducir la concentración letal media (cl50-48) para Daphnia Pulex.* Bogotá.

Castro, M., Almaida, J., Ferrer , J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 111-124.

CEPIS. (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En A. Barrenechea, *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida.* Lima.

Chaterjee, C., & Raziuddin, M. (2002). Determination of water quality index (WQI) of a degraded river in Asanol Industrial area, Raniganj, Burdwan, West Bengal. *Nature, Environment and pollution Technology,*, 181-189.

Coral. (2014). *Evaluación de la influencia de los procesos naturales y las actividades humanas en la calidad del agua del río Paria, distrito de Independencia - Huaraz - 2013-2014.* Huaraz.

Cruz, A. (2013). *Análisis de riesgo por fuga de amoniaco en tanque de almacenamiento empleando modelo computacional.* Torreón.

Cude, C. (2001). Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness. *J. American Water Resou. Assoc., 37(1).*, 125-137.

Cude, C. (2008). *Interpretation and communication of water quality data using the Oregon water quality index (OWQI).* Oregon.

Cusiche, L. (2017). *Ecodiseño para mitigar la contaminación por aguas residuales al lago de Junín.* Huancayo.

D. Satish Chandra, SS. Asadi , & M.V.S. Raju. (2017). Estimation of Water Quality Index By Weighted Arithmetic Water Quality Index Method: A Model Study. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 1215-1222. Recuperado el 8 de enero de 2018

Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An Experimental Application of the Delphi Method to the use of experts. *Management Sicence*, 458-467.

de Esparza, M. (2006). *Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública.* International Congress Natural Arsenic in Groundwaters in Latin America.

Debels, P., Figueroa, R., Urrutia, R., Barra, R., & Niell, X. (2005). Evaluation of water quality in the Chilla'n River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 301–322.

Delhaize, E., & Ryan, P. (1995). Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant physiology*, 107(2), 315.

Dinius, S. (1987). "Design of an index of water quality". *Water Resou. Bull., 23(5)*, 833-843.

Dojlido, J., Raniszewski, J., & Woyciechowska, J. (1994). Water Quality Index Applied to Rivers in the Vistula River Basin in Poland. *Environmental Monitoring and Assessment* (33(1)), 33-42. Recuperado el 10 de enero de 2018

Dräger, M. (2013). *La importancia de la temperatura corporal central. Fisiopatología y métodos de medición.* Lübeck.

Dunnette, D. (1979). A geographically variable water quality index used in Oregon. *J. Water Pollu. Cont. Fed., 51(1)*, 53-61.

Egemen, O. (2000). *Environment and water pollution.*

Environmental Protection Agency. (2001). *PARAMETERS OF WATER QUALITY Interpretation and Standards Ireland.*

Environmental Protection Agency. (2006). *Voluntary Estuary Monitoring Manual. Chapter 11: pH and Alkalinity.*

Escobar, M. (1998). Desviación, desigualdad, polarización: medidas de la diversidad social. *Reís*, 9-36.

Everett, T. (2002). Dental fluorosis: variability among different inbred mouse strains. *Journal of Dental Research*, 81:794-798.

Fernandez, N., & Solano, F. (2005). *Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial.*

Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2001). Índices fisicoquimicos de calidad del agua. Un estudio comparativo. *Conferencia internacional usos múltiples del agua*, 211-219.

Fernández, N., Ramos, G., & Solano, F. (2004). ICATEST V 1.0. Una herramienta informativa. *Bistua (2)*.

Fernández, N., Ramos, G., & Solano, F. (2004). ICATEST V 1.0® Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad. *Revista Bistua. Vol 2. No.1*, 88-97. Obtenido de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/publicaciones/bistua_revista_ciencias_basica/2004/11082010/rev_bis_vol2_num2_art12.pdf

Forrellat, M., Gautier du Défaix, H., & Fernández, N. (2000). Metabolismo del hierro. Rev Cubana Hematol. *Rev Cubana Hematol*, 16(3): 149-160.

Gaona, X. (2004). *El mercurio como contaminante global.* Barcelona.

García, Q. (2012). *Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile.* Santiago de Chile.

Gobierno Regional de Piura. (2009). Conceptos e instrumentos para la gestión integrada de cuencas hidrográficas. La experiencia de la Autoridad Autónoma de Cuenca Hidrográfica Chira-Piura. 24 pp.

Godoy, J. (2003). *Aplicación de medios filtrantes para reduccion de fluoruros en agua para Consumo.*

Gómez, M., Peña, P., & Vásquez, M. (1999). *Determinación y diferenciación Escherichia coli y Coliformes Totales usando un sustrato cromógeno.* Galicia, España.: Laboratorio Central. Aquaguest.

Gordon, R., & Camargo, I. (2015). Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 55-63.

Grafe, C. (2002). *Idaho River Ecological Assessment Framework: an Integrated.* Idaho Department of Environmental Quality.

Guerrero, J. (2005). Cianuro: Toxicidad y destrucción biológica. *El Ingeniero de minas*, 10, 22-25.

Gutiérrez, J. (2012). La variación y su significado. *Revistas académicas*, 32(101), 87-96.

Hart, B., Maher, B., & Lawrence, I. (1999). New generation water quality guidelines for ecosystem protection. *Freshwater Biology*, 347-359.

Hayes, P. (1993). *Microbiología e higiene de los alimentos.* Zaragoza, España: ACRIBIA.

Horton, R. (1965). *An index number system for rating water quality* (J. Water Pollu. Cont. Fed. ed.).

Huallpa, H. (2017). *Tratamiento químico en la reducción de la dureza de las aguas subterráneas.* Lima.

ICAIR Life Systems, Inc. (1987). *Drinking water criteria document on nitrate/nitrite.* Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Drinking Water.

IDEAM. (2004). *Fósforo total en agua por digestion acida, método del acido ascorbico. .*

IDEAM. (2005). *PSO determinación de alcalinidad por potenciometria. Programa de fisicoquímica ambiental.* Bogotá.

IDEAM. (2007). *Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría. Grupo de laboratorio de calidad ambiental.*

IDEAM. (2007). *Sulfuro en agua por volumetria. Grupo de laboratorio de calidad ambiental.*

Inocente, D., Ccoillo, C., & René, I. (2009). *Proceso de detoxificación de soluciones cianuradas usando el método Inco en efluentes mineros.*

Juberg, D. (1997). *Lead and human health: an update.* Am Cncl on Science, Health.

Kale, V. (2016). Consequence of Temperature, pH, Turbidity and Dissolved Oxygen Water Quality Parameters. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 186-190.

Karastogianni, S., Girousi, S., & Sotiropoulos, S. (2016). *pH: Principles and Measurement.* hessaloniki: Elsevier Ltd.

Kelly, W., Panno, S., & Hackley, K. (2012). *The Sources, Distribution, and Trends of Chloride in Waters of Illinois.* Champaign, Illinois : Bulletin (Illinois State Water Survey) no. 74.

Kolb, M., Bahadir, M., & Teichgräber, B. (2017). Determination of chemical oxygen demand (COD) using an alternative wet chemical method free of mercury and dichromate. *Water research*, 122, 645-654.

LAMSAC. (2017). *21° Informe Trimestral del Monitoreo Ambiental y Social – Proyecto Línea Amarilla.* Lima.

Landwehr, J. (1974). *Water Quality Indices Construction and Analysis,.* Michigan.

León, L. (1988). Índices de calidad del agua, forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 7pp.

Levine, A., Tchobanoglous, G., & Asano, T. (1985). Caracterización y Distribución. Según el Tamaño de Contaminantes en Aguas Residuales. *57*(7), 205-2016.

López-Bellido, F. (2013). Selenio y salud; valores de referencia y situación actual de la población española. *Nutrición hospitalaria*, 28(5):1396-1406.

Martínez, O. (2006). *Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico.* Guatemala.

Mcclelland, N. (1974). *Water Quality Index Application In The Kansas River Basin U.S. Environmental Protection Agency Region VII.* Washington D.C.

McNeely, R., Neimanis, P., & Dwyer, L. (1979). *Water Quality Sourcebook: A guide to water quality parameters.* Ottawa.

Mendoza, M. (1996). *Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la micro cuenca rio sábalos. Cuenca del río San Juan.* Turrialba: Catie.

Meybeck, M., & Helmer, R. (1996). *Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring.* London: Chapman & Hall.

Mills, I., Cvitas, K., Homann, N., Kallay, N., & Kuchitsu, K. (1993). *Quantities, units and symbols in physical chemistry.* Blackwell Science.

Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud. (2007). Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales, Decreto Nº 33903.

Moore, R., Richards, G., & Story, A. (2008). Electrical Conductivity as an Indicator of Water Chemistry and Hydrologic Process. *Watershed Management Bulletin*, 25-29.

Mortimer, C. (1981). The oxygen content of air-saturated fresh waters over ranges of temperature and atmospheric pressure of limnological interest. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen*, 22(1), 1-23.

Muñoz, I. (2010). *Uso y manejo de cianuro en la industria minero-metalúrgica.* Sonora: Universidad de Sonora.

Murillo, J. (2009). Turbidez y sólidos en suspensión de las aguas de escorrentía susceptibles de ser utilizadas en la recarga artificial del acuífero granular profundo subyacente a la ciudad de San Luis de Potosí (México). *Boletín Geológico y Minero*, 120 (2): 169-184.

Nikbakht, M. (2004). *The Effect Assessment of Ahvaz No.1,2 Water Treatment Plant on Karoon Water Quality.* Ahvaz: IA University.

NMX-AA-034-SCFI-2015. ( ). Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. *México DF, México*, 18 de abril del 2016.

Nordberg, G. (2012). *Capítulo 63 Metales: propiedades químicas y toxicidad. En: enciclopedia de la OIT.* D - INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).

Osores, F., Grández, J., & Fernández, L. (2010). Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. *Acta Médica Peruana* , 27 (4).

Pal, P. (2014). Detection of coliforms in drinking water and its effect on human health-A review. *International Letters of Natural Sciences,, 17*, 122-131.

Penn, M., Pauer, J., & Mihelcic, J. (2004). *Environmental and ecological chemistry-Vol. II-Biochemical oxygen demand.* Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

Peres, C., Leite, A., & Buzalaf, M. (2015). Fluorine Metabolism. (V. R. Preedy, Ed.) *International Journal of Environmental Research and Public Health* , 54-74.

Perez, J. (2010). *Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la res de distribución de la ciudad de Yopal.* Bucaramanga.

Pérez, J. (2017). *Determinación del Índice de Calidad del Agua del río Moquegua por influencia del vertimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales - OMO, durante el periodo 2014 - 2015.* Moquegua.

Pérez, N. (2017). *Simulación matemática de la interacción entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y el Oxígeno Disuelto (OD) en el río Chili con el método de los elementos finitos.* Arequipa.

Raisbeck, M. (2008). *Water quality for Wyoming livestock & wildlife.*

Ramírez, A. (2010). Toxicidad del cianuro. Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. *Anales de la Facultad de Medicina, 71*(1), 54-61.

Ramiro, E., & Caballero, A. (2011). Inconsistencia del coeficiente de variación para expresar la variabilidad de un experimento en un modelo de análisis de varianza. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 42-45.

Reyes, C. (2012). *Estudio de la contaminación de las aguas del río Chillón.* Lima.

Robbins, P. (2007). *Encyclopedia of Environment and Society Chapter.* Sage Publications.

Romero, J. (2002). *Calidad del agua.* Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ruiz , S., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación Universidad Nacional de Colombia, 27*(3), 172-181.

Said, A. (2004). An Innovative Index for Evaluating Water Quality in. *ENVIRONMENTAL ASSESSMENT*, 406-414.

Sanabria, D. (2006). *Conductividad electrica por el método electrométrico en aguas.* Colombia.

Sánchez, M. (1994). *Contribución al estudio de la demanda bioquímica de oxigeno (DBO).* Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Sánchez, W. (2017). *Determinación de la calidad del agua para uso agropecuario, mediante el ICA del río Santa, Tramo Marcará - Carhuaz, 2012 - 2013.* Huaraz.

Smith, V., Tilman, G., & Nekola, J. (1999). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environ. Pollut*, 100: 179-196.

Tellez, M., Carvajal, M., & Roxs, A. (2004). Aspectos toxicológicos relacionados con la utilización del cromo en el proceso productivo de curtiembres. *Revista Facultad de Medicina Universidad Nacional de Colombia.*, 50-61.

Timmons, J. (1979). The quality of water: problems, identification, and improvement. *Proceedings–Rural and Agricultural Conferences*, 73-92.

Tinoco, J. (2007). *Manual de tecnicas analiticas para la determinacion de parametros fisicoquimicos y contaminantes marinos: Aguas, sedimentos y organismos.* Santa Marta, Colombia.: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, José Benito Vives de Andréis, INVEMAR.

Tiwari, S., Tripathi, I., & Tiwari, H. (2013). Effects of lead on. *International Journal of Emerging Research in Management &Technology*, 2(6).

Tobin, A., Paterson, R., Khan, H., & Warren, R. (2005). *Application of CCME procedures for deriving site-specific water quality guidelines for the CCME water quality index",* (Vol. 40(4)). Wat. Qual. Res. J. Canada.

Torres, P., Hernán, C., & Patiño, P. (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica.* Medellín, Colombia.

Tyagi , S., Sharma, B., Singh , P., & Dobhal , R. (2013). Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources*, 34-38.

Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). *Waater Quality Assessment in Terms of Water Quality.* India.

UNEP/WHO. (1996). *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes.*

Vargas, C. (2008). *La contaminación fluvial y la alteración de usos del suelo y paisajes como indicadores de un proceso de urbanización. Zona de estudio: Distrito de Ate-Provincia de Lima.*

Vargas, C. (2010). *Análisis de bacterias comunes en plantas de tratamientos de diferentes efluentes que son indicadores de alta eficiencia en remoción de contaminantes.* Costa Rica.

Villa, M. (2011). *Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río agua en la subcuenca del río Yacuambi. Propuestas de tratamiento y control de la contaminación.*

Vinchira, J., & Muñoz-Ramírez, A. (2010). Selenio: Nutriente objetivo para mejorar la composición nutricional del pescado cultivado. *Rev. Med. Vet. Zoot.*, 57:48-64.

Wade, L. (1993). *Química Orgánica.* México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. de C.V.

Wetzel, R. (1983). *Limnology .2d ed.* Philadelphia: Saunders College Publishing.

Wetzel, R., & Likens, G. (2000). *Limnological Analyses.* Springer, New York.

World Health Organization. (2003). *Chlordane in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality.* Geneva: World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/84).

World Health Organization. (2011). *Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality.* Geneva.

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de los Índices de Calidad de Agua (ICA).

Anexo 2. Diagnóstico general de la calidad del agua en el río Rímac.

ANEXO 1. CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA (ICA)

ICATest v1.0 - Reporte OWQI

Fecha:	11/04/2017
Hora:	12:25
Lugar:	AS-01-ESP
Analista:	-

Valor del índice:	19,48
Número de parámetros:	8
Clasificación:	Muy Pobre
Rango:	0 - 59
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	2	67,12
Oxígeno disuelto (Conc)	6,84	72,24
Oxígeno disuelto (%Sat)		
Coliformes fecales	1,8	98
Nitritos+Nitratos+Amonios	5,196	10
pH	8,07	96,43
Temperatura	23,2	60,31
Sólidos totales	638	10
Fosfatos totales	0,083	75,14

ICATest v1.0 - Reporte Idaho

Fecha:	11/04/2017
Hora:	12:25
Lugar:	AS-01-ESP
Analista:	-

Valor del índice:	1,826
Número de parámetros:	5
Clasificación:	Marginal
Rango:	1 - 2
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado
Oxígeno disuelto	81,32
Turbidez	357,54
Fosfatos totales	0,083
Coliformes fecales	1,8
Conductividad específica	651,64

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)

Fecha:	11/04/2017
Hora:	12:25
Lugar:	AS-01-ESP
Analista:	-

Valor del índice:	74,16
Número de parámetros:	15
Clasificación:	Aceptable
Rango:	70 - 90
Color:	

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	81,32	77,2424	0,103	1,565
DBO	2	84,77	0,096	1,531
DQO	2	100	0,053	1,276
pH	8,07	73,262	0,063	1,311
Sólidos suspendidos	354	26,128	0,033	1,114
Coliformes fecales	1,8	97,568	0,083	1,463
Coliformes totales	79	76,705	0,143	1,860
Nitratos	5,19	79,969	0,053	1,261
Amonios	0,006	23,575	0,043	1,146
Fosfatos	0,083	87,238	0,073	1,386
Fenoles	0,001	100	0,033	1,164
Dif. Temperatura	0,79	94,15	0,043	1,216
Alcalinidad (CaCO3)	88,2	60,311	0,055	1,253
Dureza (CaCO3)	206,97	50,606	0,058	1,256
Cloruros	13,34	100	0,068	1,368

ICATest v1.0 - Reporte NSF

Fecha:	11/04/2017
Hora:	12:25
Lugar:	AS-01-ESP
Analista:	-

Valor del índice:	74,4
Número de parámetros:	9
Clasificación:	Buena
Rango:	71-90
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO	2	80	0,11	8,8
Oxígeno disuelto	81,32	87,99	0,17	14,96
Coliformes fecales	1,8	92,6	0,16	14,82
Nitratos	5,19	64,05	0,1	6,4
pH	8,07	81,51	0,11	8,97
Temperatura	0,79	89,84	0,1	8,98
Sólidos totales	638	20	0,07	1,4
Fosfatos totales	0,083	96,68	0,1	9,67
Turbidez	357,54	5	0,08	0,4

ICATest v1.0 - Reporte Dinius

Fecha:	11/04/2017
Hora:	12:25
Lugar:	AS-01-ESP
Analista:	-

Valor del índice:	74,57
Número de parámetros:	11
Clasificación:	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua
Rango:	70 - 90
Color:	

Comentario

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	81,32	77,24	0,115	1,649
DBO	2	84,77	0,103	1,58
Conductividad específica	629	59,76	0,085	1,416
pH	8,07	72,73	0,083	1,427
Coliformes fecales	1,8	98,28	0,122	1,75
Coliformes totales	79	76,69	0,096	1,516
Nitratos	5,19	79,9	0,096	1,523
Color		_	_	_
Dif. Temp. Aire-Superf.	0,79	50,38	0,083	1,384
Alcalinidad	88,20	60,3	0,069	1,327
Dureza	206,97	50,42	0,071	1,321
Cloruros	13,34	100	0,08	1,445

ICATest v1.0 - Reporte OWQI

Fecha:	11/04/2017
Hora:	10:45
Lugar:	AS-02-ESP
Analista:	-

Valor del índice:	19,48
Número de parámetros:	8
Clasificación:	Muy Pobre
Rango:	0 - 59
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	2	67,12
Oxígeno disuelto (Conc)	6,18	63,24
Oxígeno disuelto (%Sat)		
Coliformes fecales	1,8	98
Nitritos+Nitratos+Amonios	5,263	10
pH	8,3	85,59
Temperatura	21,9	68,48
Sólidos totales	1173	10
Fosfatos totales	0,067	79,93

ICATest v1.0 - Reporte Idaho

Fecha:	11/04/2017
Hora:	10:45
Lugar:	AS-02-ESP
Analista:	-

Valor del índice:	1,757
Número de parámetros:	5
Clasificación:	Marginal
Rango:	1 - 2
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado
Oxígeno disuelto	71,75
Turbidez	910,01
Fosfatos totales	0,067
Coliformes fecales	1,8
Conductividad específica	690,3

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)

Fecha: 11/04/2017
Hora: 10:45
Lugar: AS-02-ESP
Analista: -

Valor del índice: 72,67
Número de parámetros: 15
Clasificación: Aceptable
Rango: 70 - 90
Color:

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	71,75	69,395	0,103	1,548
DBO	2	84,77	0,096	1,531
DQO	2	100	0,053	1,276
pH	8,3	66,334	0,063	1,302
Sólidos suspendidos	901	16,732	0,033	1,097
Coliformes fecales	1,8	97,568	0,083	1,463
Coliformes totales	49	81,672	0,143	1,877
Nitratos	5,257	79,708	0,053	1,261
Amonios	0,006	23,575	0,043	1,146
Fosfatos	0,067	90,248	0,073	1,389
Fenoles	0,001	100	0,033	1,164
Dif. Temperatura	0,51	96,498	0,043	1,217
Alcalinidad (CaCO3)	89,02	60,233	0,055	1,253
Dureza (CaCO3)	195,03	51,901	0,058	1,257
Cloruros	12,45	100	0,068	1,368

ICATest v1.0 - Reporte NSF

Fecha: 11/04/2017
Hora: 10:45
Lugar: AS-02-ESP
Analista: -

Valor del índice: 71,81
Número de parámetros: 9
Clasificación: Buena
Rango: 71-90
Color:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO	2	80	0,11	8,8
Oxígeno disuelto	71,75	77,19	0,17	13,12
Coliformes fecales	1,8	92,6	0,16	14,82
Nitratos	5,257	63,72	0,1	6,37
pH	8,3	73,33	0,11	8,07
Temperatura	0,51	90,96	0,1	9,1
Sólidos totales	1173	20	0,07	1,4
Fosfatos totales	0,067	97,32	0,1	9,73
Turbidez	910,01	5	0,08	0,4

ICATest v1.0 - Reporte Dinius

Fecha:	11/04/2017
Hora:	10:45
Lugar:	AS-02-ESP
Analista:	-

Valor del índice:	74,88
Número de parámetros:	11
Clasificación:	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua
Rango:	70 - 90
Color:	

Comentario

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	71,75	69,4	0,115	1,628
DBO	2	84,77	0,103	1,58
Conductividad específica	650	59,11	0,085	1,414
pH	8,3	64,67	0,083	1,413
Coliformes fecales	1,8	98,28	0,122	1,75
Coliformes totales	49	81,65	0,096	1,526
Nitratos	5,257	79,62	0,096	1,522
Color		_	_	_
Dif. Temp. Aire-Superf.	0,51	64,44	0,083	1,413
Alcalinidad	89,02	60,22	0,069	1,327
Dureza	195,03	51,78	0,071	1,323
Cloruros	12,45	100	0,08	1,445

ICATest v1.0 - Reporte OWQI

Fecha:	12/04/2018
Hora:	10:35
Lugar:	AS-03
Analista:	-

Valor del índice:	15,74
Número de parámetros:	8
Clasificación:	Muy Pobre
Rango:	0 - 59
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	7	24,78
Oxígeno disuelto (Conc)	6,75	71,08
Oxígeno disuelto (%Sat)		
Coliformes fecales	110000	10
Nitritos+Nitratos+Amonios	6,233	10
pH	8,12	93,96
Temperatura	22,3	66,07
Sólidos totales	658	10
Fosfatos totales	0,012	96,41

ICATest v1.0 - Reporte Idaho

Fecha:	12/04/2018
Hora:	10:35
Lugar:	AS-03
Analista:	-

Valor del índice:	0,966
Número de parámetros:	5
Clasificación:	Marginal
Rango:	1 - 2
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado
Oxígeno disuelto	78,45
Turbidez	351,48
Fosfatos totales	0,012
Coliformes fecales	110000
Conductividad específica	750,45

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)

Fecha: 12/04/2018
Hora: 10:35
Lugar: AS-03
Analista: -

Valor del índice: 55,61
Número de parámetros: 15
Clasificación: Levemente contaminada
Rango: 50 - 70
Color:

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	78,45	74,889	0,103	1,56
DBO	7	54,72	0,096	1,468
DQO	28	59,154	0,053	1,24
pH	8,12	71,756	0,063	1,309
Sólidos suspendidos	348	26,394	0,033	1,114
Coliformes fecales	110000	23,82	0,083	1,301
Coliformes totales	170000	28,04	0,143	1,611
Nitratos	5,748	77,793	0,053	1,26
Amonios	0,485	59,378	0,043	1,192
Fosfatos	0,03	100	0,073	1,4
Fenoles	0,001	100	0,033	1,164
Dif. Temperatura	0,62	95,569	0,043	1,217
Alcalinidad (CaCO3)	91,15	60,042	0,055	1,253
Dureza (CaCO3)	209,25	50,412	0,058	1,255
Cloruros	16,23	100	0,068	1,368

ICATest v1.0 - Reporte NSF

Fecha: 12/04/2018
Hora: 10:35
Lugar: AS-03
Analista: -

Valor del índice: 55,56
Número de parámetros: 9
Clasificación: Media
Rango: 51-70
Color:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO	7	46	0,11	5,06
Oxígeno disuelto	78,45	85,19	0,17	14,48
Coliformes fecales	110000	2	0,16	0,32
Nitratos	5,748	61,26	0,1	6,13
pH	8,12	79,73	0,11	8,77
Temperatura	0,62	90,52	0,1	9,05
Sólidos totales	658	20	0,07	1,4
Fosfatos totales	0,012	99,52	0,1	9,95
Turbidez	351,48	5	0,08	0,4

ICATest v1.0 - Reporte Dinius

Fecha:	12/04/2018
Hora:	10:35
Lugar:	AS-03
Analista:	-

Valor del índice:	54,46
Número de parámetros:	11
Clasificación:	No requiere tratamiento para la mayoría de cultivos
Rango:	50 - 70
Color:	

Comentario

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	78.45	74.89	0.115	1.643
DBO	7	54.72	0.103	1.51
Conductividad específica	712	57.35	0.085	1.411
pH	8.12	70.89	0.083	1.424
Coliformes fecales	110000	23.82	0.122	1.472
Coliformes totales	170000	28.04	0.096	1.377
Nitratos	5.748	77.71	0.096	1.519
Color		_	_	_
Dif. Temp. Aire-Superf.	0.62	58.38	0.083	1.402
Alcalinidad	91.15	60.03	0.069	1.327
Dureza	209.25	50.17	0.071	1.32
Cloruros	16.23	100	0.08	1.445

ICATest v1.0 - Reporte OWQI

Fecha:	12/04/2017
Hora:	12:10
Lugar:	AS-04
Analista:	-

Valor del índice:	15,97
Número de parámetros:	8
Clasificación:	Muy Pobre
Rango:	0 - 59
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado	Subíndice
DBO	5	36,91
Oxígeno disuelto (Conc)	6,52	68,03
Oxígeno disuelto (%Sat)		
Coliformes fecales	11000	10
Nitritos+Nitratos+Amonios	5,978	10
pH	7,95	100
Temperatura	21,8	69,07
Sólidos totales	697	10
Fosfatos totales	0,012	96,41

ICATest v1.0 - Reporte Idaho

Fecha:	12/04/2017
Hora:	12:10
Lugar:	AS-04
Analista:	-

Valor del índice:	1,285
Número de parámetros:	5
Clasificación:	Marginal
Rango:	1 - 2
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado
Oxígeno disuelto	74,91
Turbidez	382,79
Fosfatos totales	0,012
Coliformes fecales	17000
Conductividad específica	771,4

ICATest v1.0 - Reporte León (1998)

Fecha:	12/04/2017
Hora:	12:10
Lugar:	AS-04
Analista:	-

Valor del índice:	60,48
Número de parámetros:	15
Clasificación:	Levemente contaminada
Rango:	50 - 70
Color:	

Comentario:

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	74,91	71,9862	0,103	1,553
DBO	5	61,55	0,096	1,485
DQO	22	66,006	0,053	1,25
pH	7,95	76,738	0,063	1,314
Sólidos suspendidos	379	25,02	0,033	1,112
Coliformes fecales	11000	32,032	0,083	1,335
Coliformes totales	17000	38,189	0,143	1,684
Nitratos	5,493	78,787	0,053	1,26
Amonios	0,485	59,378	0,043	1,192
Fosfatos	0,012	100	0,073	1,4
Fenoles	0,001	100	0,033	1,164
Dif. Temperatura	1,12	91,457	0,043	1,214
Alcalinidad (CaCO3)	93,28	59,861	0,055	1,252
Dureza (CaCO3)	215,50	49,879	0,058	1,255
Cloruros	15,37	100	0,068	1,368

ICATest v1.0 - Reporte NSF

Fecha:	12/04/2017
Hora:	12:10
Lugar:	AS-04
Analista:	-

Valor del índice:	57,74
Número de parámetros:	9
Clasificación:	Media
Rango:	51-70
Color:	

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Subíndice
DBO	5	55,8	0,11	6,14
Oxígeno disuelto	74,91	81,06	0,17	13,78
Coliformes fecales	11000	9,8	0,16	1,57
Nitratos	5,493	62,54	0,1	6,25
pH	7,95	85,5	0,11	9,4
Temperatura	1,12	88,52	0,1	8,85
Sólidos totales	697	20	0,07	1,4
Fosfatos totales	0,012	99,52	0,1	9,95
Turbidez	382,79	5	0,08	0,4

ICATest v1.0 - Reporte Dinius

Fecha:	12/04/2017
Hora:	12:10
Lugar:	AS-04
Analista:	-

Valor del índice:	56,88
Número de parámetros:	11
Clasificación:	No requiere tratamiento para la mayoría de cultivos
Rango:	50 - 70
Color:	

Comentario

Detalles:

Parámetro	Resultado	Valor Q	Factor de pond.	Total
Oxígeno disuelto	74,91	71,99	0,115	1,635
DBO	5	61,55	0,103	1,529
Conductividad específica	725	57,01	0,085	1,41
pH	7,95	77,32	0,083	1,435
Coliformes fecales	11000	32,03	0,122	1,526
Coliformes totales	17000	37,93	0,096	1,418
Nitratos	5,493	78,67	0,096	1,521
Color		_	_	_
Dif. Temp. Aire-Superf.	1,12	37,68	0,083	1,352
Alcalinidad	93,28	59,85	0,069	1,326
Dureza	215,5	49,51	0,071	1,319
Cloruros	15,37	100	0,08	1,445

Indice de Calidad de Agua - PE

Estaciones de monitoreo: AS-01-ESP, AS-02-ESP, AS-03 y AS-04
Norma de referencia: Estándar de Calidad de Agua - ECA Agua (D.S. N° 004-2017-MINAM*)

*CATEGORIA 3: Riego de vegetales y bebida de animales. SUBCATEGORIA D1: Riego de vegetales.

PARÁMETROS	ECA - AGUA	ESTACIONES QUE EXCEDEN EL ECA				OPERACIONES (% Excedente respecto al ECA)			
	CATEGORIA 3* SUBCATEGORIA D1**	AS-01-ESP	AS-02-ESP	AS-03	AS-04	AS-01-ESP	AS-02-ESP	AS-03	AS-04
In situ									
Conductividad	2500	---	---	---	---	---	---	---	---
Ox. Disuelto	4	---	---	---	---	---	---	---	---
pH	6,5-8,5	---	---	---	---	---	---	---	---
Fisicoquímicos									
DBO	15	---	---	---	---	---	---	---	---
Cloruros	500	---	---	---	---	---	---	---	---
Inorgánicos									
Aluminio	5	9.732	8.916	10.96	9.795	0.9464	0.7832	1.192	0.959
Arsenico	0.1	---	---	---	---	---	---	---	---
Boro	1	---	---	---	---	---	---	---	---
Cadmio	0.01	---	---	---	---	---	---	---	---
Cobre	0.2	---	---	---	---	---	---	---	---
Hierro	5	9.925	8.887	12.8	11.34	0.985	0.7774	1.56	1.268
Manganeso	0.2	0.42507	0.38264	0.46258	0.46042	1.12535	0.9132	1.3129	1.3021
Mercurio	0.001	---	---	---	---	---	---	---	---
Plomo	0.05	---	---	---	---	---	---	---	---
Zinc	2	---	---	---	---	---	---	---	---
Microbiológicos									
C. Termotolerantes	1000	---	---	110000	11000	---	---	109	10
Huevos de Helmintos	1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

***S/D: Sin datos.**

DATOS	# parámetros que no cumplen	3	3	4	4
	# total de parámetros por punto	16	16	16	16
CÁLCULO ICA - PE	**F1**	18.75	18.75	25	25
	F2	18.75	18.75	25	25
	nse	0.191046875	0.1546125	7.06655625	0.84556875
	F3	16.04024821	13.39085624	87.6031361	45.81616101
	ICA-PE	**82.11**	**82.85**	**45.46**	**66.59**

Indice de Calidad de Agua - Universal

Fecha: 11/04/2017
Hora: 12:25
Lugar: AS-01-ESP

PARAMETRO	CONCENTR.	RANGO	SUB-INDICE	PESO	SUBTOTAL	SUB. FINAL
DBO	<2	X<3	100	0.057	5.7	**5.70**
		3<=X<5	175	0.057		
		5<=X<7	162.5	0.057		
		X>=7	0	0.057		
Nitratos		X<5	100	0.086		
	5.19	5<X<=10	98.1	0.086	8.4366	**8.44**
		10<X<=20	95	0.086		
		X>20	0	0.086		
Arsénico		X<=0,02	100	0.113		
	0.04505	0,02<X<=0,05	58.245165	0.113	6.581703645	**6.58**
		0,05<X<=0,1	95	0.113		
		X>0,1	0	0.113		
Ox. Disuelto		X>=8	100	0.114		
	6.84	8>X>=6	71	0.114	8.094	**8.09**
		6>X>=3	-40	0.114		
		X<3	0	0.114		
Fluoruros	0.128	X<1	100	0.086	8.6	**8.60**
		1<X<=2	194.17	0.086		
		X>2	0	0.086		
Fosforo		X<0,02	100	0.057		
		0,02<X<=0,16	107.14	0.057		
		0,16<X<=0,65	64.694	0.057		
	0.717	X>0,65	0	0.057	0	**0.00**
Mercurio	<0,00003	X<0,0001	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,0001<X<=0,0005	112.5	0.086		
		0,0005<X<=0,002	65	0.086		
		X>0,002	0	0.086		
Selenio	<0,0004	X<0,01	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,01<X<=0,02	95	0.086		
		X>0,02	0	0.086		
Cianuro	<0,0006	X<0,01	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,01<X<=0,05	112.5	0.086		
		0,05<X<=0,1	95	0.086		
		X>0,1	0	0.086		
Cadmio	0.00292	X<0,003	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,003<X<=0,005	175	0.086		
		0,005<X<=0,01	95	0.086		
		X>0,01	0	0.086		
Coliformes Totales		X<=50	100	0.114		
	79	50<X<=5000	95.03090467	0.114	10.83	**10.83**
		5000<X<=50000	#¡NUM!	0.114		
		X>50000	0	0.114		
pH	8.07	6,5<=x<8,5	100	0.029	2.9	**2.90**
		5,5<=x<6,4 AND	50	0.029		
		8,6<=x<9		0.029		
		X<5,5 AND X>9	0	0.029		
					TOTAL	**85.55**

Indice de Calidad de Agua - Universal

Fecha: 11/04/2017
Hora: 10:45
Lugar: AS-02-ESP

PARAMETRO	CONCENTR.	RANGO	SUB-INDICE	PESO	SUBTOTAL	SUB. FINAL
DBO	<2	X<3	100	0.057	5.7	**5.70**
		3<=X<5	175	0.057		
		5<=X<7	162.5	0.057		
		X>=7	0	0.057		
Nitratos		X<5	100	0.086		
	5.257	5<X<=10	97.43	0.086	8.37898	**8.38**
		10<X<=20	95	0.086		
		X>20	0	0.086		
Arsénico		X<=0,02	100	0.113		
	0.04265	0,02<X<=0,05	62.245245	0.113	7.033712685	**7.03**
		0,05<X<=0,1	95	0.113		
		X>0,1	0	0.113		
Ox. Disuelto		X>=8	100	0.114		
	6.18	8>X>=6	54.5	0.114	6.213	**6.21**
		6>X>=3	-40	0.114		
		X<3	0	0.114		
Fluoruros	0.124	X<1	100	0.086	8.6	**8.60**
		1<X<=2	194.17	0.086		
		X>2	0	0.086		
Fosforo		X<0,02	100	0.057		
		0,02<X<=0,16	107.14	0.057		
		0,16<X<=0,65	64.694	0.057		
	0.76	X>0,65	0	0.057	0	**0.00**
Mercurio	<0,00003	X<0,0001	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,0001<X<=0,0005	112.5	0.086		
		0,0005<X<=0,002	65	0.086		
		X>0,002	0	0.086		
Selenio	<0,0004	X<0,01	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,01<X<=0,02	95	0.086		
		X>0,02	0	0.086		
Cianuro	<0,0006	X<0,01	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,01<X<=0,05	112.5	0.086		
		0,05<X<=0,1	95	0.086		
		X>0,1	0	0.086		
Cadmio	0.00268	X<0,003	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,003<X<=0,005	175	0.086		
		0,005<X<=0,01	95	0.086		
		X>0,01	0	0.086		
Coliformes Totales	49	X<=50	100	0.114	11.4	**11.40**
		50<X<=5000	#¡NUM!	0.114		
		5000<X<=50000	#¡NUM!	0.114		
		X>50000	0	0.114		
pH	8.3	6,5<=x<8,5	100	0.029	2.9	**2.90**
		5,5<=x<6,4 AND	50	0.029		
		8,6<=x<9		0.029		
		X<5,5 AND X>9	0	0.029		
					TOTAL	**84.62**

Indice de Calidad de Agua - Universal

Fecha: 12/04/2017
Hora: 10:35
Lugar: AS-03

PARAMETRO	CONCENTR.	RANGO	SUB-INDICE	PESO	SUBTOTAL	SUB. FINAL
DBO		X<3	100	0.057		
		3<=X<5	175	0.057		
		5<=X<7	162.5	0.057		
	7	X>=7	0	0.057	0	**0.00**
Nitratos		X<5	100	0.086		
	5.748	5<X<=10	92.52	0.086	7.95672	**7.96**
		10<X<=20	95	0.086		
		X>20	0	0.086		
Arsénico		X<=0,02	100	0.113		
		0,02<X<=0,05	133.33	0.113		
	0.05547	0,05<X<=0,1	45.077	0.113	5.093701	**5.09**
		X>0,1	0	0.113		
Ox. Disuelto		X>=8	100	0.114		
	6.75	8>X>=6	68.75	0.114	7.8375	**7.84**
		6>X>=3	-40	0.114		
		X<3	0	0.114		
Fluoruros	0.138	X<1	100	0.086	8.6	**8.60**
		1<X<=2	194.17	0.086		
		X>2	0	0.086		
Fosforo		X<0,02	100	0.057		
		0,02<X<=0,16	107.14	0.057		
	0.207	0,16<X<=0,65	45.683741	0.057	2.603973237	**2.60**
		X>0,65	0	0.057		
Mercurio	<0,00003	X<0,0001	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,0001<X<=0,0005	112.5	0.086		
		0,0005<X<=0,002	65	0.086		
		X>0,002	0	0.086		
Selenio	<0,0004	X<0,01	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,01<X<=0,02	95	0.086		
		X>0,02	0	0.086		
Cianuro	<0,0006	X<0,01	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,01<X<=0,05	112.5	0.086		
		0,05<X<=0,1	95	0.086		
		X>0,1	0	0.086		
Cadmio		X<0,003	100	0.086		
	0.00345	0,003<X<=0,005	88.75	0.086	7.6325	**7.63**
		0,005<X<=0,01	95	0.086		
		X>0,01	0	0.086		
Coliformes Totales		X<=50	100	0.114		
		50<X<=5000	#¡NUM!	0.114		
		5000<X<=50000	#¡NUM!	0.114		
	170000	X>50000	0	0.114	0	**0.00**
pH	8.12	6,5<=x<8,5	100	0.029	2.9	**2.90**
		5,5<=x<6,4 AND	50	0.029		
		8,6<=x<9		0.029		
		X<5,5 AND X>9	0	0.029		
					TOTAL	**68.42**

Indice de Calidad de Agua - Universal

Fecha: 12/04/2017
Hora: 12:10
Lugar: AS-04

PARAMETRO	CONCENTR.	RANGO	SUB-INDICE	PESO	SUBTOTAL	SUB. FINAL
DBO		X<3	100	0.057		
		3<=X<5	175	0.057		
	5	5<=X<7	50	0.057	2.85	**2.85**
		X>=7	0	0.057		
Nitratos		X<5	100	0.086		
	5.493	5<X<=10	95.07	0.086	8.17602	**8.18**
		10<X<=20	95	0.086		
		X>20	0	0.086		
Arsénico		X<=0,02	100	0.113		
		0,02<X<=0,05	133.33	0.113		
	0.0559	0,05<X<=0,1	44.69	0.113	5.04997	**5.05**
		X>0,1	0	0.113		
Ox. Disuelto		X>=8	100	0.114		
	6.52	8>X>=6	63	0.114	7.182	**7.18**
		6>X>=3	-40	0.114		
		X<3	0	0.114		
Fluoruros	0.041	X<1	100	0.086	8.6	**8.60**
		1<X<=2	194.17	0.086		
		X>2	0	0.086		
Fosforo		X<0,02	100	0.057		
		0,02<X<=0,16	107.14	0.057		
	0.199	0,16<X<=0,65	46.418437	0.057	2.645850909	**2.65**
		X>0,65	0	0.057		
Mercurio	<0,00003	X<0,0001	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,0001<X<=0,0005	112.5	0.086		
		0,0005<X<=0,002	65	0.086		
		X>0,002	0	0.086		
Selenio	<0,0004	X<0,01	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,01<X<=0,02	95	0.086		
		X>0,02	0	0.086		
Cianuro	<0,0006	X<0,01	100	0.086	8.6	**8.60**
		0,01<X<=0,05	112.5	0.086		
		0,05<X<=0,1	95	0.086		
		X>0,1	0	0.086		
Cadmio		X<0,003	100	0.086		
	0.00353	0,003<X<=0,005	86.75	0.086	7.4605	**7.46**
		0,005<X<=0,01	95	0.086		
		X>0,01	0	0.086		
Coliformes Totales		X<=50	100	0.114		
		50<X<=5000	#¡NUM!	0.114		
	17000	5000<X<=50000	23.42486635	0.114	2.670434764	**2.67**
		X>50000	0	0.114		
pH	7.95	6,5<=x<8,5	100	0.029	2.9	**2.90**
		5,5<=x<6,4 AND	50	0.029		
		8,6<=x<9		0.029		
		X<5,5 AND X>9	0	0.029		
					TOTAL	**73.33**

ANEXO 2. DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO RÍMAC

DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO RÍMAC

I. ASPECTOS GENERALES

Consistió en recopilar información general acerca de los monitoreos de calidad de agua. La finalidad fue interpretar y evaluar de manera integral las tendencias en los parámetros de calidad de agua (sean in situ, fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos). Esto permitió diagnosticar la calidad del agua y determinar los parámetros de interés, así como evaluar tendencias, para determinar si a través de su recorrido se observaron aumentos o disminuciones en la concentración durante todo el trayecto del río (desde su origen hasta su desembocadura).

La data recolectada de calidad de agua en la unidad de estudio se realizó en base a los siguientes informes técnicos realizados por la Autoridad Nacional del Agua – ANA (Organismo adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). A continuación, se detallan los informes técnicos realizados en un periodo de 5 años, perteneciendo a los años 2012-2016:

- Año 2012: En base al Informe Técnico N° 006-2012-ANA-DGCRH/JJOS **"INFORME TÉCNICO - RESULTADO DEL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO RIMAC"**; la toma de muestras data del 16 al 20 de abril del año 2012.
- Año 2013: Informe Técnico N° 072-2014-ANA-DGCRH/RATQ **"SEGUNDO MONITOREO PARTICIPATIVO DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC"**; la toma de muestras data del 15 al 19 de octubre del año 2013.
- Año 2014: Informe Técnico N° 020-2014-ANA-DGCRH/GOCRH **"INFORME DEL SEGUNDO MONITOREO 2014 DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC"**; la toma de muestras data del 30 de setiembre al 02 de octubre del año 2014.
- Año 2015: Informe Técnico N° 085-2015-ANA-DGCRH/GOCRH **"INFORME TÉCNICO DE RESULTADOS DEL PRIMER MONITOREO PARTICIPATIVO DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LA**

CUENCA DEL RÍO RÍMAC”; la toma de muestras data del 21 de setiembre al 01 de octubre del 2015.

- Año 2016: Informe Técnico N° 083-2016-ANA-AAA.CF/SDGCRH “**RESULTADO DEL MONITOREO PARTICIPATIVO DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC-2016”**; la toma de muestras data del 23 al 27 de mayo del año 2016.

Después de haber recopilado diversas fuentes para obtener los registros de los parámetros de calidad de agua de la unidad de estudio, se ha procedido a evaluar cada parámetro para poder realizar una síntesis de la calidad de agua en el río Rímac en base al Estándar de Calidad de Agua nacional vigente (D.S. N° 004-2017-MINAM).

Cuadro 1. Categorías y Subcategorías del Estándar de Calidad Ambiental

Estándar de Calidad Ambiental de Agua (ECA – Agua)		
Categorías	**Subcategorías**	
Categoría 1: Poblacional y Recreacional.	Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.	A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.
		A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
		A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado.
	Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación.	B1: Contacto primario.
		B2: Contacto secundario.
Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.	Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras.	
	Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras.	
	Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras.	
	Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas.	
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.	Subcategoría D1: Riego de vegetales.	Agua para riego no restringido.
		Agua para riego restringido.
	Subcategoría D2: Bebida de animales.	
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.	Subcategoría E1: Lagunas y lagos.	
	Subcategoría E2: Ríos.	Costa y sierra.
		Selva.
	Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos.	Estuarios.
		Marinos.

***Fuente*. Datos tomados de Ministerio del Ambiente (2017).**

La ubicación y coordenadas de cada estación de muestreo se encuentra en el cuadro 2. Dichas estaciones fueron establecidas por la Autoridad Nacional del Agua y sirvió para la síntesis de la evaluación de la calidad de agua.

Cuadro 2. Estaciones de muestreo de calidad de agua en el río Rímac

Estación de muestreo	Descripción	Coordenadas UTM Datum WGS84 - Zona 18 Sur		Altitud (m s.n.m.)
		Este	Norte	
RRima-1	Río Rímac (MI), aguas abajo del vertimiento de Minera Los Quenuales S.A.	365225	8711767	4161
RRima-2	Río Rímac (MI), 220 m. aguas abajo del vertimiento de Compañía Minera Casapalca S.A.	364968	8711452	4150
RRima-3	Río Rímac (MD), puente Anchi II, Carretera Central km. 100, antes de la unión con río Blanco.	361821	8703030	3462
RRima-4	Río Rímac (MD), 100 m. aguas abajo del vertimiento de Nystar Coricancha, antes de la unión con río Aruri.	357487	8697093	2935
RRima-5	Río Rímac (MD), aguas arriba de la unión con el río Mayo (Puente Tambo de Viso), Carretera Central km. 83.5.	354070	8694843	2664
RRima-6	Río Rímac (MI), 100 m. aguas abajo del puente Surco. Carretera central km. 66.	342234	8685592	1968
RRima-7	Río Rímac (MD), 100 m. aguas arriba del puente Ricardo Palma, Carretera Central km. 38 (cancha de grass sintético de la municipalidad).	319063	8681449	964
RRima-8	Río Rímac (MD), 80 m. aguas abajo del puente Morón, Carretera Central km. 23.	305572	8675338	645
RRima-9	Río Rímac (MD), Bocatoma de la planta de tratamiento de agua potable "Huachipa".	295243	8671750	437
RRima-10	Río Rímac (MI), Bocatoma 1, Planta de tratamiento de agua potable "La Atarjea".	286001	8669758	278
RRima-11	Río Rímac (MD), Bocatoma 2, Planta de tratamiento de agua potable "La Atarjea".	285974	8669821	278
RRima-12	Río Rímac (MI), 200 m. aguas abajo del puente Universitaria, av. Morales Duarez (parque).	273430	8668596	76
RRima-13	Río Rímac (MD), 20 m. aguas arriba del puente Néstor Gambetta.	268443	8668505	24

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

II. INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

2.1. Parámetros medidos in situ

En este subcapítulo se encuentran descritos los siguientes parámetros: Temperatura, Potencial de hidrógeno (pH), Conductividad eléctrica y Oxígeno disuelto.

2.1.1. Temperatura

Se muestran los resultados de temperatura en el siguiente cuadro:

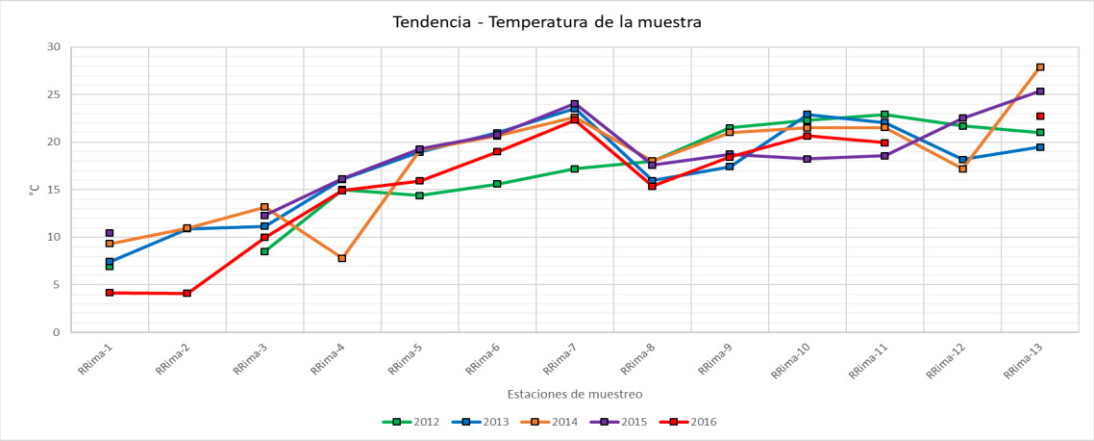
Cuadro 3. Temperatura de la muestra

Estación de monitoreo	Temperatura (°C)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	6.9	7.44	9.33	10.47	4.15
RRima-2	S/D	10.88	10.96	S/D	4.1
RRima-3	8.5	11.15	13.19	12.29	9.98
RRima-4	15	16.07	7.78	16.15	14.92
RRima-5	14.4	18.96	19.2	19.27	15.93
RRima-6	15.6	20.98	20.66	20.78	19.0
RRima-7	17.2	23.53	22.6	24.04	22.31
RRima-8	18	15.94	18	17.6	15.37
RRima-9	21.5	17.42	21	18.73	18.42
RRima-10	22.3	22.91	21.5	18.23	20.67
RRima-11	22.9	22.06	21.53	18.58	19.95
RRima-12	21.7	18.18	17.2	22.51	S/D
RRima-13	21	19.49	27.9	25.37	22.72

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

Con la información recopilada, también se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 1. Temperatura de la muestra



***Fuente*. Elaboración propia.**

Interpretación:

El gráfico demuestra una tendencia al alza, puesto que la primera estación de muestreo se encuentra a una altitud muy elevada (4150 m s.n.m.), a lo cual corresponde una temperatura ambiental fría; por lo tanto, a lo largo del trayecto y hasta su desembocadura (a nivel del mar) la temperatura ambiente va incrementándose, ya que el recorrido se desplaza desde la sierra (medio de bajas temperaturas) hasta la costa (medio de temperaturas medias a altas), lo que se ve reflejado en las temperaturas en cada estación.

2.1.2. Potencial de Hidrógeno (pH)

Se muestran los resultados de potencial de Hidrógeno (pH) en el siguiente cuadro:

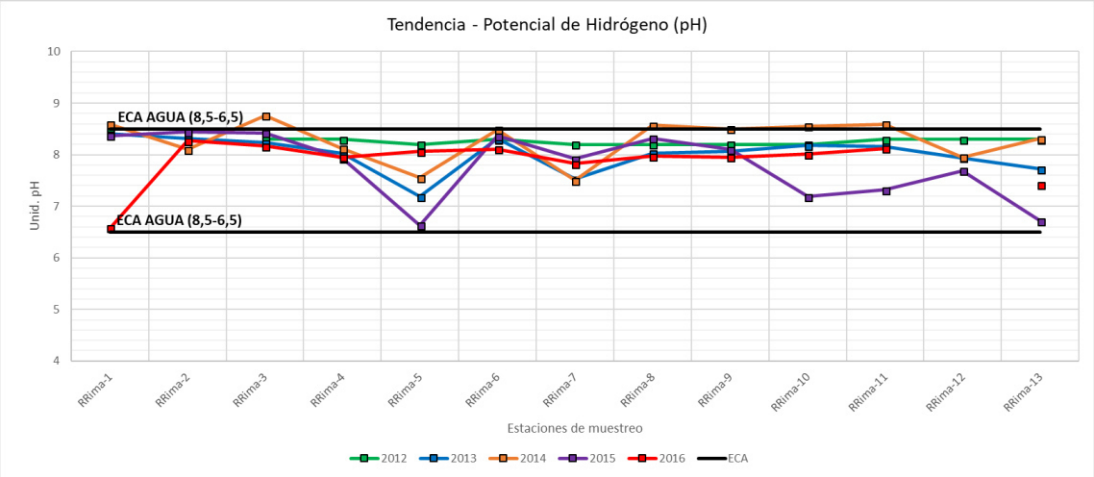
Cuadro 4. Potencial de Hidrógeno (pH)

Estación de monitoreo	Unidades de pH				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	8.5	8.40	8.59	8.37	6.58
RRima-2	S/D	8.31	8.10	8.44	8.27
RRima-3	8.3	8.23	8.76	8.42	8.17
RRima-4	8.3	8.03	8.12	7.93	7.95
RRima-5	8.2	7.19	7.55	6.63	8.06
RRima-6	8.3	8.31	8.49	8.36	8.11
RRima-7	8.2	7.53	7.50	7.92	7.83
RRima-8	8.2	8.03	8.57	8.32	7.97
RRima-9	8.2	8.07	8.50	8.10	7.95
RRima-10	8.2	8.18	8.55	7.19	8.01
RRima-11	S/D	8.16	8.59	7.32	8.12
RRima-12	8.3	7.94	7.95	7.69	S/D
RRima-13	8.3	7.72	8.31	6.72	7.42
ECA AGUA	**6.5-8.5**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

Con la información recopilada, también se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 2. Potencial de hidrógeno (pH)



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico demuestra una tendencia ligeramente uniforme, salvo medidas cuyos resultados se alejan de la media. Mayormente en el nacimiento del río se encuentran pH básicos y un ligero decrecimiento del pH para algunas estaciones, posiblemente por vertimientos de origen municipal o por la confluencia con otros cuerpos de agua, los cuales llegan a confluir con estos niveles de pH en su recorrido hasta la última estación que está cercana a su desembocadura. Se pudo observar que en varias estaciones correspondientes al año 2014 superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un rango de 6.5-8.5 unid. pH.

2.1.3. Conductividad eléctrica

Se muestran los resultados de conductividad eléctrica en el siguiente cuadro:

Cuadro 5. Conductividad eléctrica

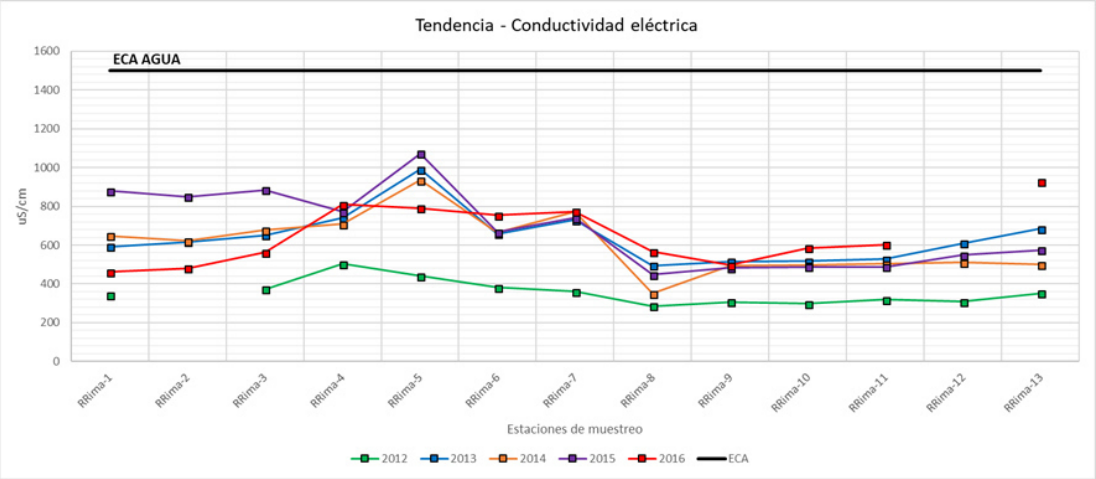
Estación de monitoreo	Conductividad eléctrica (µS/cm)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	343	591.8	647.5	878.9	462.2
RRima-2	S/D	617.4	622.5	850	481.6
RRima-3	372	650.7	677.6	884.6	561.9
RRima-4	503	739.6	708.3	771	810.4
RRima-5	440	990.6	935	1072	791.5
RRima-6	381	657.7	663.4	667.5	754.9
RRima-7	360	730	774	740.9	773.9
RRima-8	285	494.1	350.8	447	566.6
RRima-9	307	515.3	494.2	482.4	496.9
RRima-10	298	516.9	496.1	487.5	584.9
RRima-11	318	528.5	503.4	487.8	603.1

RRima-12	309	608.8	509.8	547.9	S/D
RRima-13	352	683.7	500	574.1	926.4
ECA AGUA	**1500**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

Con la información recopilada, también se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 3. Conductividad eléctrica



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación</u>:

El gráfico demuestra una ligera tendencia de disminución o decrecimiento de la conductividad. Además, se puede observar picos y caídas en dichas mediciones para algunas estaciones, resultado posible del comportamiento dinámico de elementos o especies iónicas en su mayoría, presentes en estos puntos. Existió un comportamiento poco marcado entre el periodo 2012, el más estable identificado para este análisis y el periodo 2013 – 2016, con más inestabilidad para este parámetro. Ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 1500 µS/cm.

2.1.4. Oxígeno disuelto

Se muestran los resultados de oxígeno disuelto en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Oxígeno disuelto

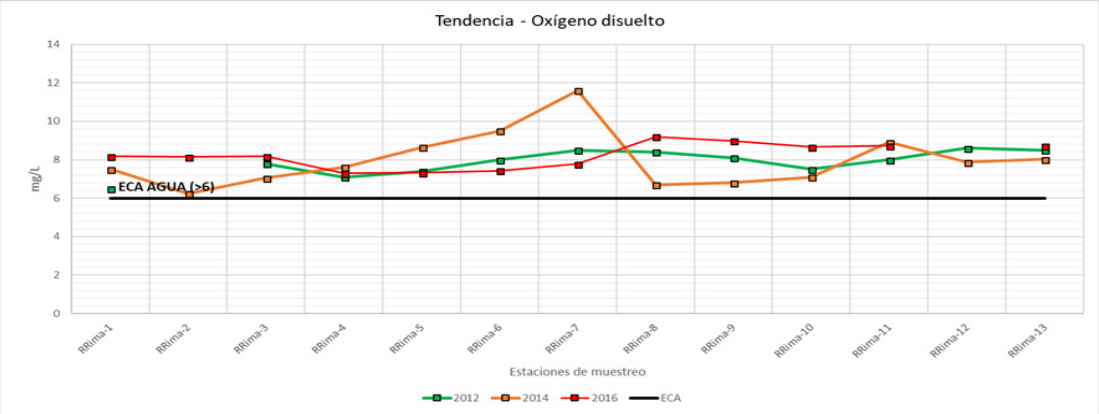
Estación de monitoreo	**Concentración (mg/L)**				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	6.5	S/D	7.5	S/D	8.17
RRima-2	S/D	S/D	6.24	S/D	8.15
RRima-3	7.8	S/D	7.05	S/D	8.18
RRima-4	7.1	S/D	7.61	S/D	7.29
RRima-5	7.4	S/D	8.65	S/D	7.33

RRima-6	8.0	S/D	9.5	S/D	7.43
RRima-7	8.5	S/D	11.6	S/D	7.78
RRima-8	8.4	S/D	6.7	S/D	9.19
RRima-9	8.1	S/D	6.8	S/D	8.98
RRima-10	7.5	S/D	7.1	S/D	8.67
RRima-11	8.0	S/D	8.9	S/D	8.72
RRima-12	8.6	S/D	7.87	S/D	S/D
RRima-13	8.5	S/D	8.02	S/D	8.71
ECA AGUA	**>6**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 4. Oxígeno disuelto



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

Se obtuvieron registros de 3 años (2012, 2014 y 2016); sin embargo, se puede observar una tendencia ligeramente uniforme a lo largo de todo el trayecto del río, con concentraciones mínimas en la estación 1 (año 2012) y estación 2 (año 2014). Se pudo observar que todas las estaciones cumplieron el mínimo admisible de 6 mg/L, según el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1).

2.2. Parámetros fisicoquímicos

En este subcapítulo se encuentran descritos siguientes los parámetros: Cromo VI, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Cloruros, Fosforo Total, Fosfatos, Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal, Nitratos, Nitritos, Sulfatos y Solidos Suspendidos Totales.

De todos los parámetros mencionados anteriormente, solo se excluirán de la interpretación los parámetros Aceites y grasas, Cianuro WAD, Cianuro Libre,

Cromo VI y Sulfuros, puesto que las concentraciones reportadas son inferiores al límite detectable según el método de ensayo.

2.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Se muestran los resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el siguiente cuadro:

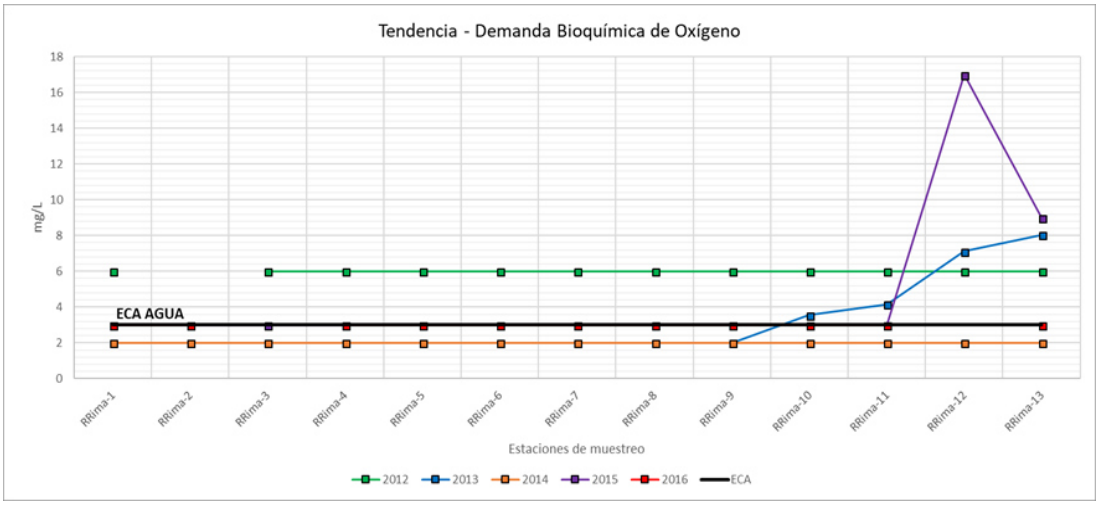
Cuadro 7. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	<6	<2	<2	<3	<3
RRima-2	S/D	<2	<2	<3	<3
RRima-3	<6	<2	<2	3	S/D
RRima-4	<6	<2	<2	<3	<3
RRima-5	<6	<2	<2	<3	<3
RRima-6	<6	<2	<2	<3	<3
RRima-7	<6	<2	<2	3	<3
RRima-8	<6	<2	<2	<3	<3
RRima-9	<6	<2	<2	<3	<3
RRima-10	<6	3.56	<2	<3	3
RRima-11	<6	4.15	<2	<3	<3
RRima-12	<6	7.11	<2	17	S/D
RRima-13	<6	8.03	<2	9	3
ECA AGUA	**3**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 5. Demanda Bioquímica de Oxígeno



***Fuente*. Elaboración propia.**

Interpretación:

Se obtuvieron registros con una tendencia ligeramente uniforme a lo largo de todo el trayecto del río, con picos en las estaciones 12 y 13 para el año 2015, pero sin mayores variaciones. Se pudo observar que hubo estaciones (zona baja) en los años 2012 y 2015 que superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 3 mg/L.

2.2.2. Demanda Química de Oxígeno

Se muestran los resultados de Demanda Química de Oxígeno en el siguiente cuadro:

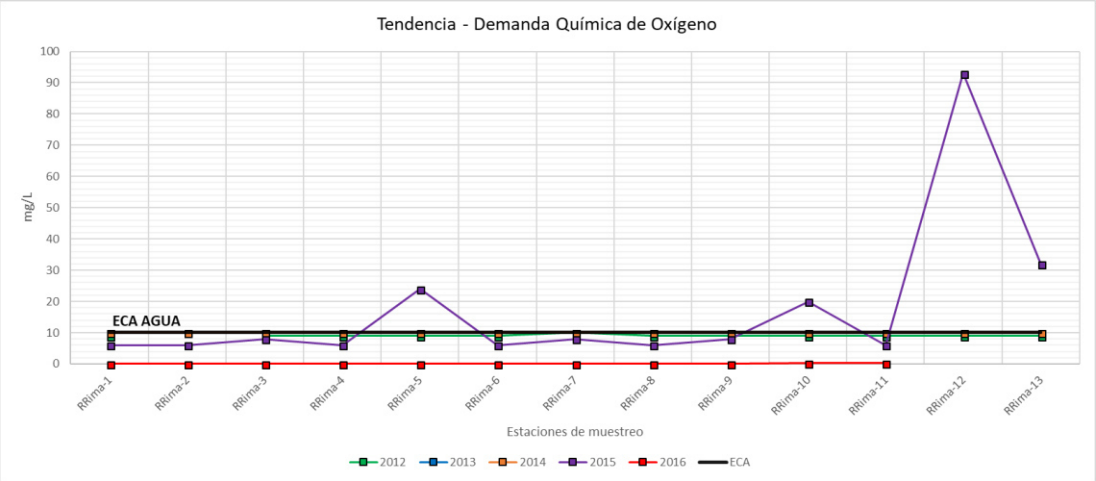
Cuadro 8. Demanda Química de Oxígeno

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	<9	<10	<10	<6	8
RRima-2	S/D	<10	<10	<6	7
RRima-3	<9	<10	<10	8	<6
RRima-4	<9	<10	<10	<6	<6
RRima-5	<9	<10	<10	24	8
RRima-6	<9	<10	<10	<6	6
RRima-7	10	<10	<10	8	6
RRima-8	<9	<10	<10	<6	8
RRima-9	9	<10	<10	8	8
RRima-10	9	<10	<10	20	10
RRima-11	<9	10	<10	<6	8
RRima-12	9	10	<10	93	S/D
RRima-13	9	10	<10	32	8
ECA AGUA	**10**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 6. Demanda Química de Oxígeno



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

Se obtuvieron registros con una tendencia ligeramente uniforme a lo largo de todo el trayecto del río, con picos para las estaciones 5, 10, 12 y 13. Adicionalmente se obtuvieron medidas cercanas a 10 mg/L para todo el trayecto del río en el año 2016. Se pudo observar que hubo estaciones (en el año 2015) que superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 10 mg/L.

2.2.3. Cloruros

Se muestran los resultados de Cloruros en el siguiente cuadro:

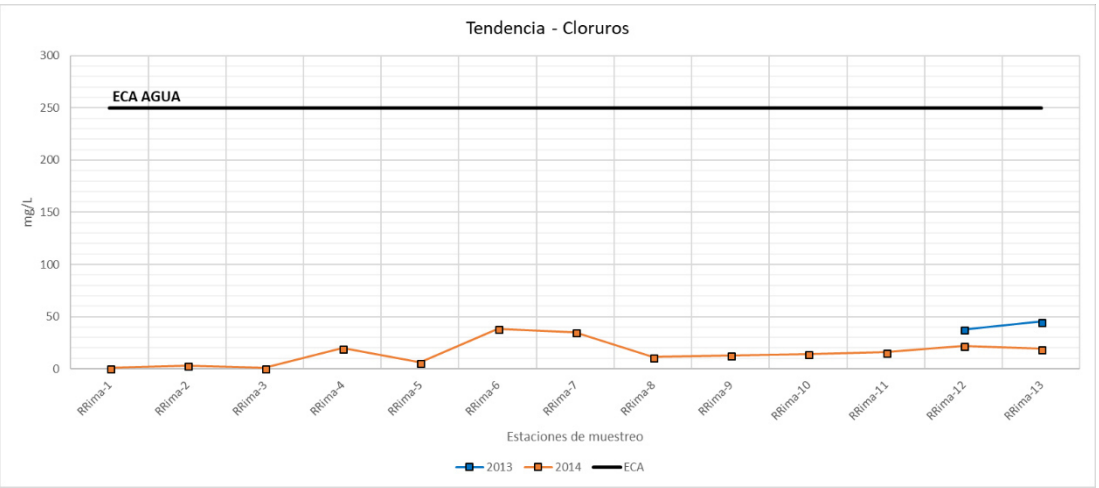
Cuadro 9. Cloruros

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	S/D	S/D	<1	S/D	S/D
RRima-2	S/D	S/D	3.32	S/D	S/D
RRima-3	S/D	S/D	<1	S/D	S/D
RRima-4	S/D	S/D	19.81	S/D	S/D
RRima-5	S/D	S/D	6.21	S/D	S/D
RRima-6	S/D	S/D	38.39	S/D	S/D
RRima-7	S/D	S/D	35.32	S/D	S/D
RRima-8	S/D	S/D	11.43	S/D	S/D
RRima-9	S/D	S/D	13.01	S/D	S/D
RRima-10	S/D	S/D	14.29	S/D	S/D
RRima-11	S/D	S/D	15.97	S/D	S/D
RRima-12	S/D	37.9	21.98	S/D	S/D
RRima-13	S/D	45.3	19.02	S/D	S/D
ECA AGUA	**250**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 7. Cloruros



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

Solo se obtuvieron registros para el periodo 2013 y 2014, con una tendencia de elevación y picos para las estaciones 4, 6, 7 ,12 y 13. Se pudo observar que ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 250 mg/L.

2.2.4. Fosforo Total

Se muestran los resultados de Fosforo Total en el siguiente cuadro:

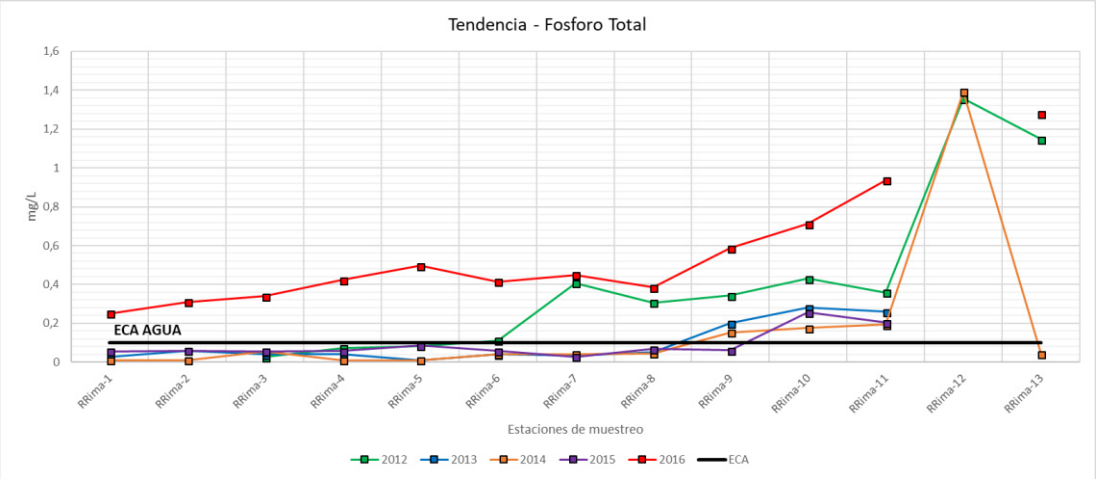
Cuadro 10. Fosforo Total

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	0.053	0.027	<0.01	0.056	<0.009
RRima-2	S/D	0.06	<0.01	0.06	0.01
RRima-3	0.026	0.04	0.054	0.056	<0.009
RRima-4	0.074	0.04	<0.01	0.058	<0.009
RRima-5	0.084	0.01	<0.01	0.086	0.0487
RRima-6	0.111	0.04	0.042	0.058	0.0729
RRima-7	0.407	0.035	0.041	0.028	0.055
RRima-8	0.307	0.05	0.046	0.068	0.0683
RRima-9	0.343	0.2	0.154	0.061	0.0775
RRima-10	0.43	0.28	0.176	0.256	0.2874
RRima-11	0.358	0.26	0.194	0.204	0.2718
RRima-12	1.356	S/D	1.394	S/D	S/D
RRima-13	1.148	S/D	0.0435	S/D	S/D
ECA AGUA	**0.1**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 8. Fosforo Total



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

Se obtuvieron registros para el periodo 2012 - 2016, con una tendencia de elevación hasta la estación 11 y picos para las estaciones 12 y 13. Se pudo observar que hubo estaciones en los años 2012 (zona alta, media y baja) y 2013, 2014, 2015 y 2016 (zona media y baja) que superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 0.1 mg/L.

2.2.5. Fosfatos

Se muestran los resultados de Fosfatos en el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Fosfatos

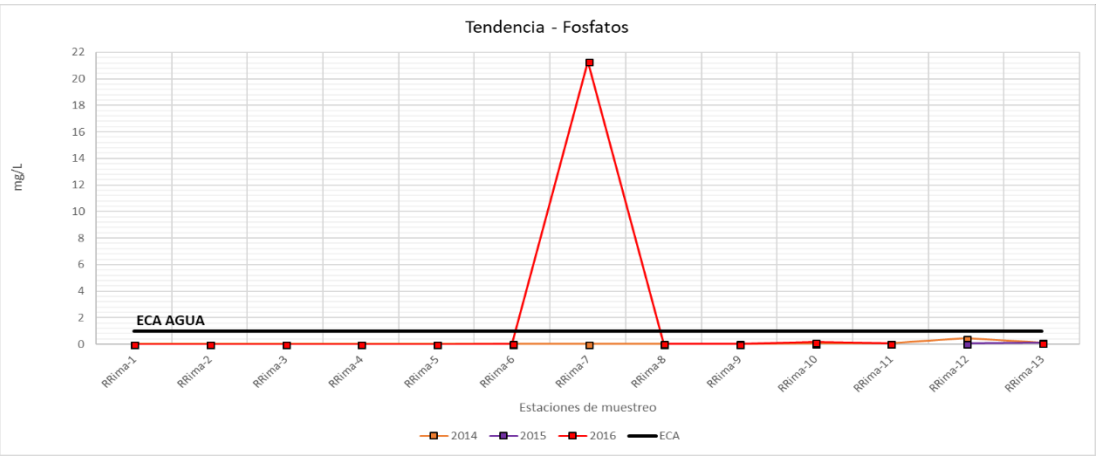
Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	S/D	S/D	<0.03	S/D	0.007
RRima-2	S/D	S/D	<0.03	S/D	0.007
RRima-3	S/D	S/D	<0.03	S/D	0.007
RRima-4	S/D	S/D	<0.03	S/D	0.007
RRima-5	S/D	S/D	<0.03	S/D	0.007
RRima-6	S/D	S/D	<0.03	S/D	0.04
RRima-7	S/D	S/D	<0.03	S/D	21.3
RRima-8	S/D	S/D	<0.03	S/D	0.04
RRima-9	S/D	S/D	0.053	S/D	0.009
RRima-10	S/D	S/D	0.06	S/D	0.17
RRima-11	S/D	S/D	0.063	S/D	0.069
RRima-12	S/D	S/D	0.456	0.064	S/D

RRima-13	S/D	S/D	0.143	0.118	0.112
ECA AGUA	**1**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 9. Fosfatos



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

Se obtuvieron registros para el periodo 2014 - 2016, con una tendencia uniforme y de ligera elevación para el final del trayecto en comparación a la primera estación; sin embargo, se puede observar que el parámetro analizado tiene pico anómalo en la estación 7, marcando una variación elevada respecto a las demás estaciones. Se pudo observar que ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat. 3: Riego de Vegetales y Bebidas de Animales), que establece un máximo de 1 mg/L, a excepción de una estación (RRimac-7) en el año 2016. Cabe resaltar que el ECA mencionado fue de una norma ya derogada (D.S. N° 002-2008-MINAM), puesto que la norma vigente no contempla este parámetro.

2.2.6. Nitrógeno Total

Se muestran los resultados de Nitrógeno Total en el siguiente cuadro:

Cuadro 12. Nitrógeno Total

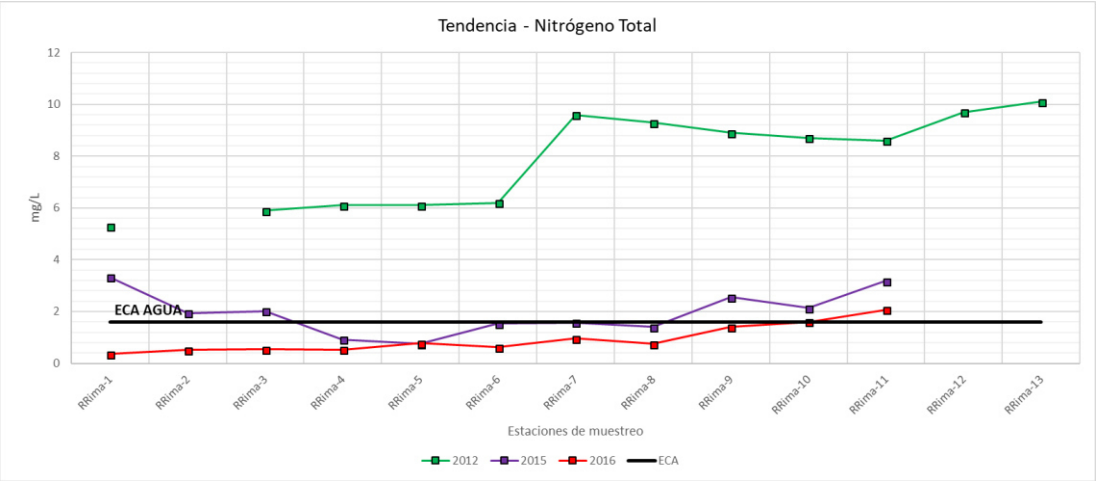
Estación de monitoreo	**Concentración (mg/L)**				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	5.3	S/D	S/D	3.325	0.356

RRima-2	S/D	S/D	S/D	1.939	0.519
RRima-3	5.9	S/D	S/D	2.021	0.539
RRima-4	6.1	S/D	S/D	0.926	0.528
RRima-5	6.1	S/D	S/D	0.757	0.772
RRima-6	6.2	S/D	S/D	1.531	0.615
RRima-7	9.6	S/D	S/D	1.572	0.9597
RRima-8	9.3	S/D	S/D	1.401	0.751
RRima-9	8.9	S/D	S/D	2.552	1.4
RRima-10	8.7	S/D	S/D	2.132	1.604
RRima-11	8.6	S/D	S/D	3.187	2.074
RRima-12	9.7	S/D	S/D	S/D	S/D
RRima-13	10.1	S/D	S/D	S/D	S/D
ECA AGUA	**1.6**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 10. Nitrógeno Total



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación</u>:

Se obtuvieron registros para los años 2012, 2015 y 2016, con una tendencia de ligera elevación para cada año; sin embargo, se puede observar que para los años 2015 y 2016 las concentraciones fueron más bajas en comparación del año 2012. Se pudo observar que en el año 2012 (todas las estaciones), 2015 (zona alta, media y baja) y 2016 (zona baja) superaron el ECA – AGUA (Cat.4: Conservación del ambiente acuático Subcat. E2: Ríos, Costa y sierra) que establece un máximo de 1.6 mg/L. Cabe resaltar que el ECA mencionado fue de una norma ya derogada (D.S. N° 002-2008-MINAM), puesto que la norma vigente no contempla este parámetro.

2.2.7. Nitrógeno Amoniacal

Se muestran los resultados de Nitrógeno amoniacal en el siguiente cuadro:

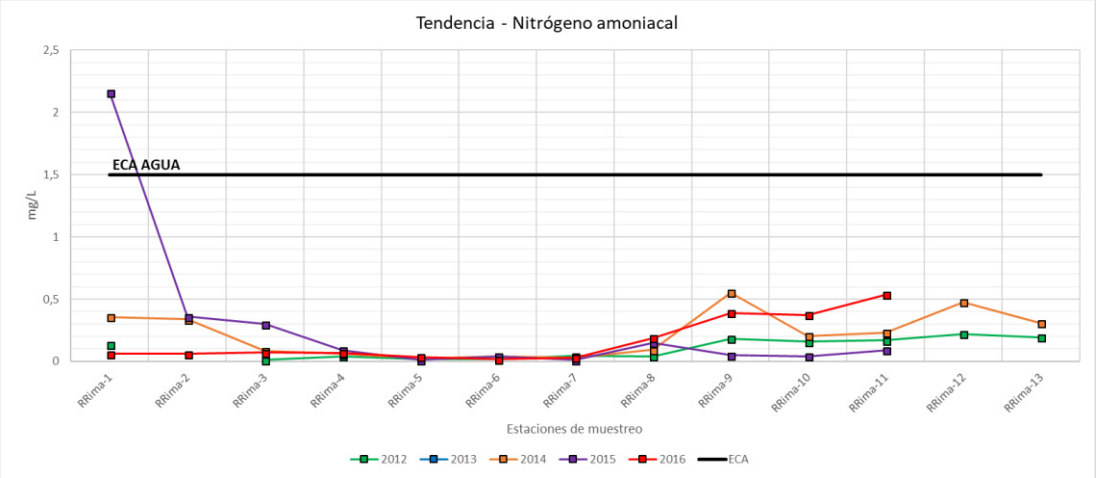
Cuadro 13. Nitrógeno amoniacal

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	0.137	0.14	0.356	2.16	0.06
RRima-2	S/D	0.915	0.338	0.36	0.06
RRima-3	<0.01	0.034	0.084	0.3	<0.068
RRima-4	0.041	0.051	0.059	0.09	<0.068
RRima-5	0.02	<0.02	0.023	<0.01	0.0367
RRima-6	0.02	<0.02	0.04	0.04	0.0165
RRima-7	0.043	<0.02	0.028	0.01	0.0309
RRima-8	0.042	0.08	0.094	0.15	0.187
RRima-9	0.182	0.326	0.552	0.05	0.3892
RRima-10	0.159	0.225	0.205	0.04	0.3742
RRima-11	0.169	0.251	0.233	0.09	0.537
RRima-12	0.222	S/D	0.477	S/D	S/D
RRima-13	0.193	S/D	0.309	S/D	S/D
ECA AGUA	**1.5**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 11. Nitrógeno amoniacal



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual describe una tendencia de ligera elevación para el recorrido del río; sin embargo, se observa que para la estación 1 se obtuvo una gran concentración

del parámetro analizado en comparación con otros años, esto posiblemente por la carga de actividad minera para el año 2015, cuyo punto de vertimiento se encuentra aguas arriba de la estación 1. Ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 1.5 mg/L, a excepción de una estación (RRima-1) en el año 2015.

2.2.8. Nitratos

Se muestran los resultados de Nitratos en el siguiente cuadro:

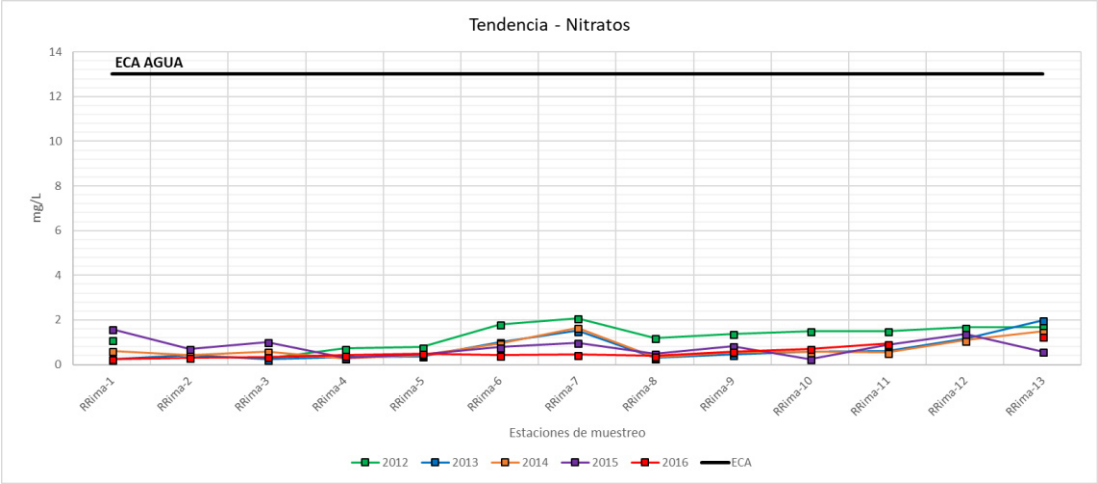
Cuadro 14. Nitratos

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	1.111	0.234	0.612	1.59	0.25
RRima-2	S/D	0.412	0.424	0.71	0.31
RRima-3	<0.26	0.241	0.586	1.01	0.34
RRima-4	0.717	0.321	0.28	0.31	0.4231
RRima-5	0.789	0.372	0.428	0.46	0.4957
RRima-6	1.804	1.011	0.956	0.78	0.4145
RRima-7	2.08	1.511	1.646	0.987	0.45
RRima-8	1.201	0.3	0.347	0.49	0.3849
RRima-9	1.373	0.445	0.553	0.83	0.5878
RRima-10	1.507	0.573	0.571	0.25	0.7118
RRima-11	1.494	0.599	0.542	0.89	0.937
RRima-12	1.662	1.153	1.092	1.38	S/D
RRima-13	1.683	1.982	1.487	0.58	1.28
ECA AGUA	**13**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 12. Nitratos



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual describe una tendencia moderadamente uniforme. Para el año 2012 se obtuvo una elevación en la concentración del parámetro analizado para las estaciones 6 y 7, en comparación con el 2016, cuyo año se observa fue el más estable a lo largo de las estaciones de medición. Se pudo observar que ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.4 Subcat. E2), que establece un máximo de 13 mg/L.

2.2.9. Nitritos

Se muestran los resultados de Nitritos en el siguiente cuadro:

Cuadro 15. Nitritos

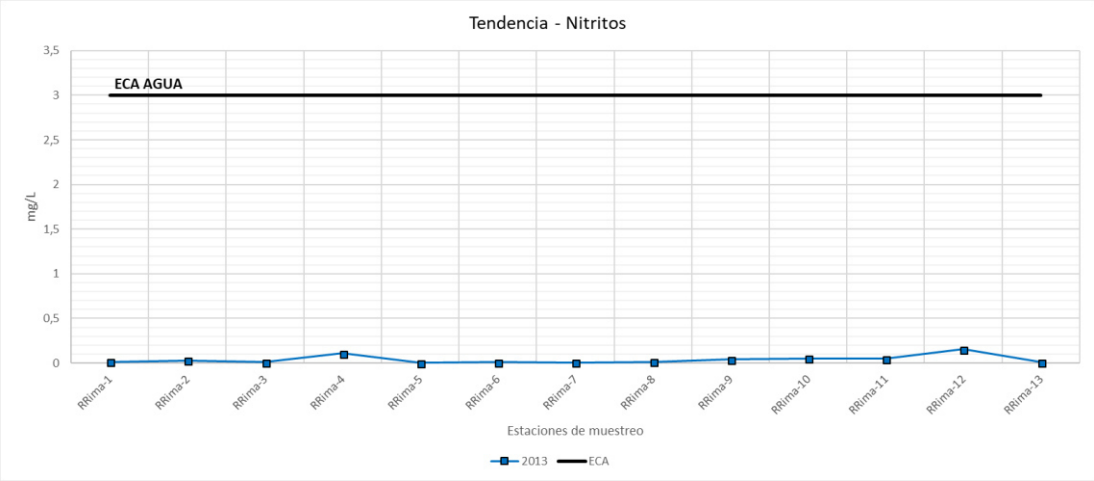
Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	S/D	0.015	S/D	S/D	S/D
RRima-2	S/D	0.028	S/D	S/D	S/D
RRima-3	S/D	0.012	S/D	S/D	S/D
RRima-4	S/D	0.11	S/D	S/D	S/D
RRima-5	S/D	<0.003	S/D	S/D	S/D
RRima-6	S/D	0.009	S/D	S/D	S/D
RRima-7	S/D	0.008	S/D	S/D	S/D
RRima-8	S/D	0.013	S/D	S/D	S/D
RRima-9	S/D	0.04	S/D	S/D	S/D
RRima-10	S/D	0.052	S/D	S/D	S/D
RRima-11	S/D	0.047	S/D	S/D	S/D
RRima-12	S/D	0.154	S/D	S/D	S/D

RRima-13	S/D	0.012	S/D	S/D	S/D
ECA AGUA	**3**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 13. Nitritos



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El grafico nos muestra un registro de datos para el año 2013, con una tendencia estable de conservación para el parámetro analizado, con picos elevados para las estaciones 4 y 12; sin embargo, se puede observar que, para la estación final, la medida obtenida fue similar al inicio, con lo cual se resuelve un comportamiento de conservación sin tendencias de elevación. Se pudo observar que ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 3 mg/L.

2.2.10. Sulfatos

Se muestran los resultados de Sulfatos en el siguiente cuadro:

Cuadro 16. Sulfatos

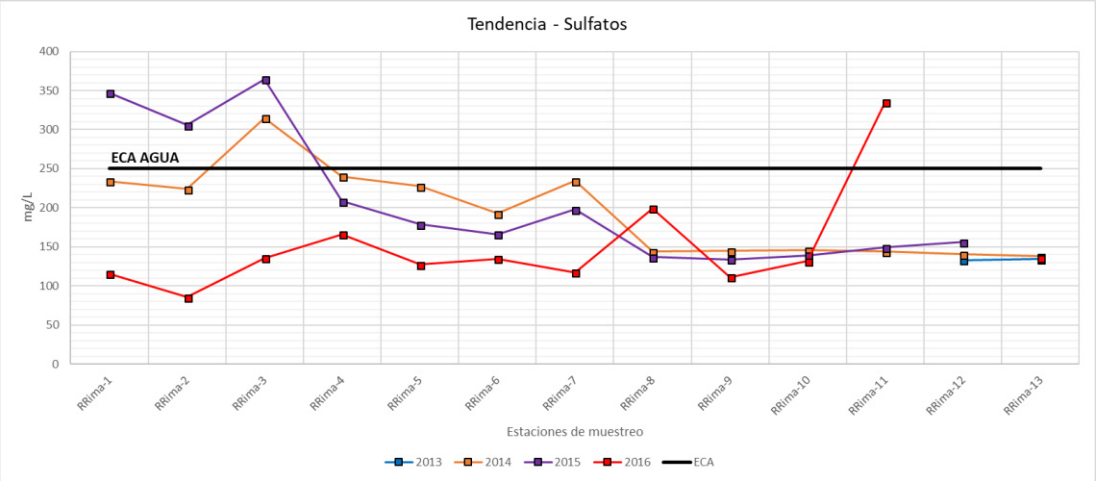
Estación de monitoreo	**Concentración (mg/L)**				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	S/D	S/D	233.95	347.2	115.7
RRima-2	S/D	S/D	224.19	305.9	85.4
RRima-3	S/D	S/D	314.88	364.7	135.6
RRima-4	S/D	S/D	240.03	208.4	166.1
RRima-5	S/D	S/D	227.46	178.9	127.5
RRima-6	S/D	S/D	192.85	166.1	134.9

RRima-7	S/D	S/D	234.64	197.9	117.3
RRima-8	S/D	S/D	143.95	136.9	199.3
RRima-9	S/D	S/D	144.65	133.7	111.3
RRima-10	S/D	S/D	145.47	139.2	131.5
RRima-11	S/D	S/D	143.95	149.2	334.9
RRima-12	S/D	132.89	140.4	155.9	S/D
RRima-13	S/D	134.44	137.71	S/D	135.7
ECA AGUA	**250**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 14. Sulfatos



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2013 – 2016, en el cual se observa una tendencia de disminución para los años 2014, 2015 y 2016; sin embargo, se observa que el registro para el periodo 2016 muestra la mayor estabilidad a lo largo de las estaciones identificadas, a comparación de los demás periodos, teniendo un pico elevado para la estación 11. Se pudo observar que en los años 2014 y 2015 (zona alta) y 2016 (zona baja) hubo estaciones que superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 250 mg/L.

2.2.11. Sólidos Suspendidos Totales

Se muestran los resultados de Sólidos Suspendidos Totales en el siguiente cuadro:

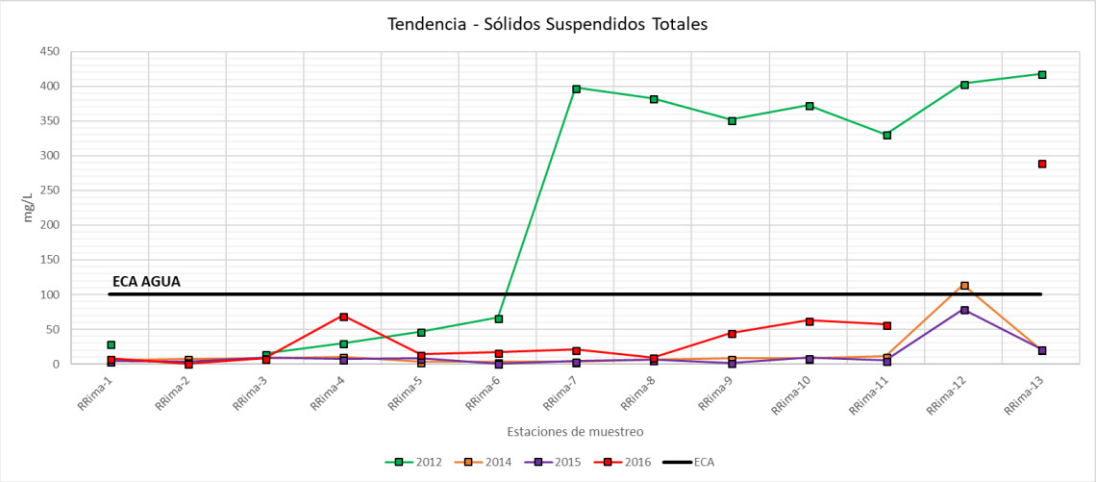
Cuadro 17. Sólidos Suspendidos Totales

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	29	S/D	5.23	4	8
RRima-2	S/D	S/D	7.82	3	1
RRima-3	15	S/D	8.51	9	8
RRima-4	30	S/D	10.76	7	70
RRima-5	47	S/D	<3	8	14
RRima-6	67	S/D	<3	1	17
RRima-7	398	S/D	<3	4	21
RRima-8	383	S/D	6	6	9.7
RRima-9	352	S/D	8.28	2	44.9
RRima-10	373	S/D	8.26	9	62.8
RRima-11	331	S/D	11.05	5	56.9
RRima-12	404	S/D	114.5	79	S/D
RRima-13	418	S/D	21.1	22	290
ECA AGUA	**100**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 15. Sólidos Suspendidos Totales



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra registros de datos para los años 2012, 2014, 2015 y 2016, en la cual se observa una tendencia estable a lo largo de todas las estaciones, con elevaciones de las últimas estaciones en su mayoría. Para el año 2012 se observa un gran desbalance con tendencia de elevación a partir de la estación 6. Se pudo observar que en los años 2012 (zona alta, media y

baja), 2014 y 2016 (zona baja) hubo estaciones que superaron el ECA – AGUA (Cat.4 Subcat. E2), que establece un máximo de 100 mg/L.

2.3. Parámetros inorgánicos

En este subcapítulo se encuentran descritos siguientes los parámetros: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Boro, Berilio, Cadmio, Cobre, Cobalto, Cromo, Hierro, Manganeso, Plomo y Zinc. De todos los parámetros mencionados anteriormente, solo se excluyeron de la interpretación los parámetros Antimonio, Berilio, Mercurio, Níquel y Selenio, puesto que las concentraciones reportadas son inferiores al límite detectable según el método de ensayo.

2.3.1. Aluminio

Se muestran los resultados de Aluminio en el siguiente cuadro:

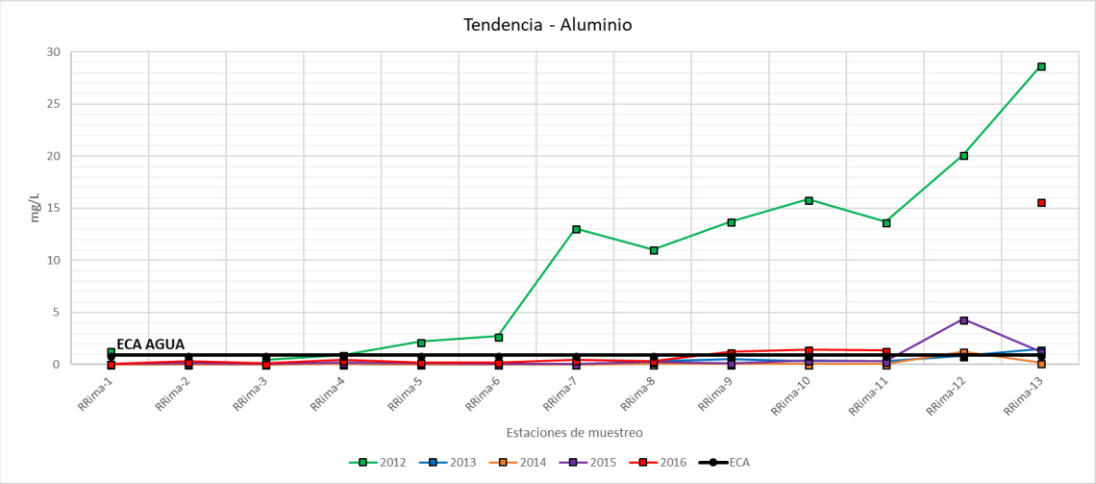
Cuadro 18. Aluminio

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	1.31	0.0862	0.0167	0.080	0.095
RRima-2	S/D	0.1185	0.0319	0.0991	0.319
RRima-3	0.46	0.0808	0.0254	0.065	0.112
RRima-4	0.92	0.0694	0.0508	0.182	0.457
RRima-5	2.19	<0.01	<0.01	0.104	0.204
RRima-6	2.72	<0.01	<0.01	0.044	0.21
RRima-7	13.08	0.0232	<0.01	0.035	0.436
RRima-8	11.06	0.3471	0.0417	0.248	0.335
RRima-9	13.72	0.5067	0.0450	0.140	1.218
RRima-10	15.85	0.3341	0.0370	0.411	1.446
RRima-11	13.71	0.3513	0.0397	0.304	1.346
RRima-12	20.12	0.8192	1.2706	4.353	S/D
RRima-13	28.69	1.5008	0.1904	1.257	15.64
ECA AGUA	**0.9**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 16. Aluminio



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se observa una tendencia estable para el periodo 2013 – 2016 sin variaciones, salvo para la estación 12; sin embargo, también se observa que para el año 2012, se obtuvo una tendencia de elevación con grandes variaciones, partiendo desde la estación 3 hasta la última estación, posiblemente por la actividad minera presentes en las estaciones 1 y 2. Se pudo observar que en los años 2012 (zona alta, media y baja) y 2013, 2014, 2015 y 2016 (zona media y baja) hubo estaciones que superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 0.9 mg/L.

2.3.2. Arsénico

Se muestran los resultados de Arsénico en el siguiente cuadro:

Cuadro 19. Arsénico

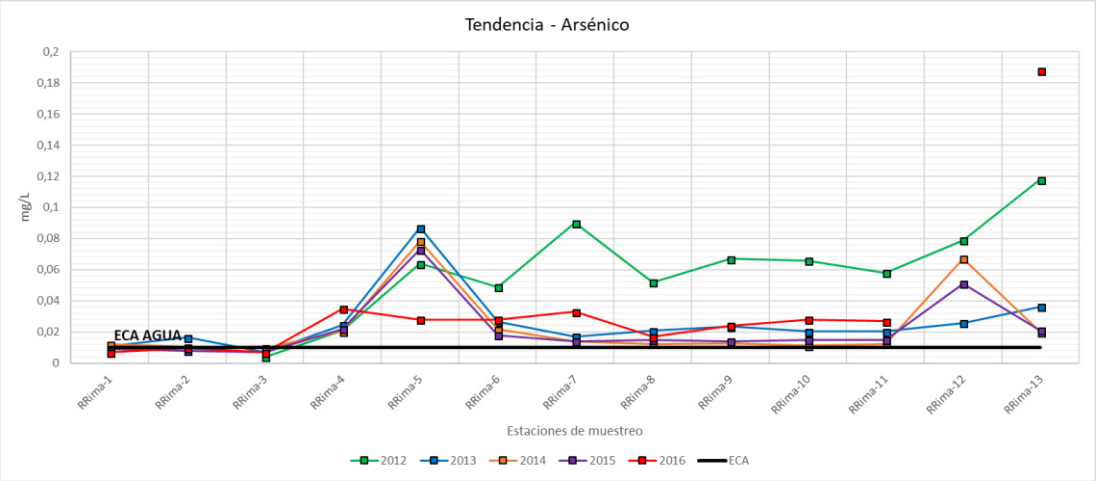
Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	0.011	0.0111	0.0122	0.009	0.007
RRima-2	S/D	0.0164	0.0103	0.008	0.0098
RRima-3	0.004	0.0072	0.0097	<0.007	<0.007
RRima-4	0.021	0.0246	0.0205	0.022	0.035
RRima-5	0.064	0.0871	0.0786	0.073	0.028
RRima-6	0.049	0.0267	0.0216	0.018	0.028
RRima-7	0.09	0.0171	0.0139	0.014	0.033
RRima-8	0.052	0.0208	0.0123	0.015	0.017
RRima-9	0.067	0.0234	0.0128	0.014	0.024
RRima-10	0.066	0.0204	0.0113	0.015	0.028

RRima-11	0.058	0.0203	0.0123	0.015	0.027
RRima-12	0.079	0.0259	0.0672	0.051	S/D
RRima-13	0.118	0.0362	0.02	0.021	0.188
ECA AGUA	**0.01**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 17. Tendencia de Arsénico



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se puede observar una tendencia casi uniforme de conservación para el parámetro evaluado, salvo para las estaciones 4, 5 y 11 destacadamente, con elevaciones en sus respectivas medidas. Sin embargo, se puede observar que para el periodo 2012, se obtuvo una tendencia de elevación desde la estación 3, para lo cual la pendiente se mantuvo en aumento hasta la última estación identificada. Se pudo observar que casi todas las estaciones superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 0.01 mg/L.

2.3.3. Boro

Se muestran los resultados de Boro en el siguiente cuadro:

Cuadro 20. Boro

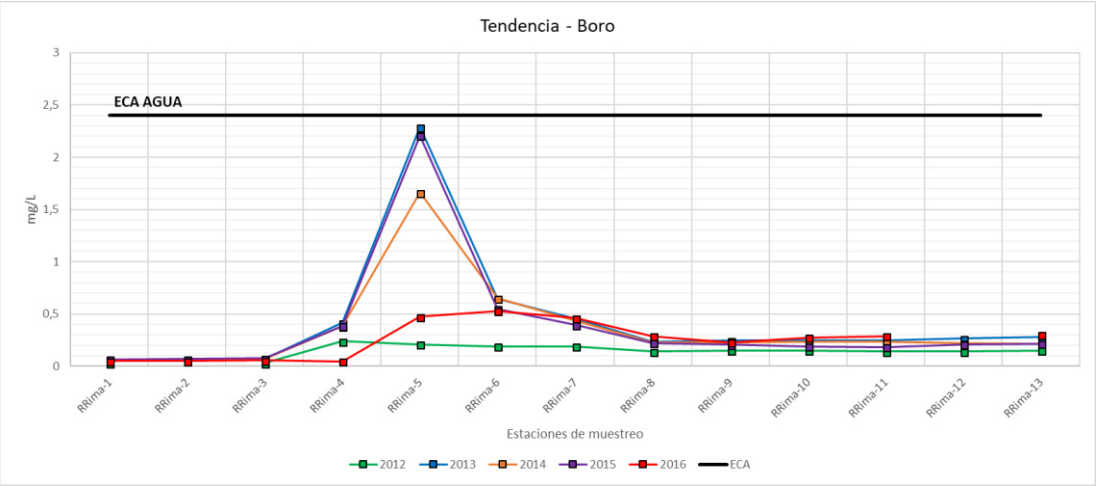
Estación de monitoreo	**Concentración (mg/L)**				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	<0.03	0.0576	0.0573	0.066	0.050
RRima-2	S/D	0.0621	0.0559	0.068	0.050
RRima-3	<0.03	0.0700	0.0706	0.076	0.057

RRima-4	0.24	0.4160	0.3809	0.384	0.046
RRima-5	0.21	2.2896	1.6621	2.206	0.472
RRima-6	0.19	0.6481	0.6507	0.55	0.528
RRima-7	0.19	0.4559	0.4340	0.395	0.462
RRima-8	0.14	0.2350	0.2243	0.223	0.289
RRima-9	0.15	0.2443	0.2262	0.207	0.228
RRima-10	0.15	0.2446	0.2310	0.191	0.274
RRima-11	0.14	0.2475	0.2330	0.184	0.289
RRima-12	0.14	0.2649	0.2197	0.209	S/D
RRima-13	0.15	0.2807	0.2167	0.216	0.301
ECA AGUA	**2.4**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 18. Tendencia de Boro



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se puede observar una tendencia de estabilidad lo largo de las estaciones medidas, salvo para los puntos 4, 5 y 6 para los periodos 2013, 2014 y 2015 con picos puntuales a la estación 5. Para el año 2016 se observa una pequeña elevación con tendencia uniforme, teniendo variables marcadas desde la estación 5 hasta la 7. Se pudo observar que ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 2.4 mg/L.

2.3.4. Cadmio

Se muestran los resultados de Cadmio en el siguiente cuadro:

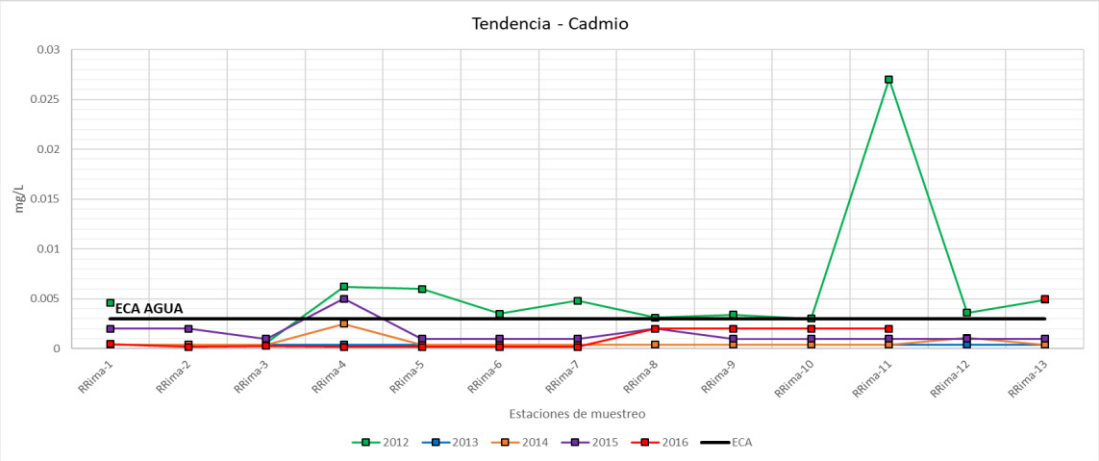
Cuadro 21. Cadmio

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	0.0046	<0.0004	<0.0004	0.002	0.00047
RRima-2	S/D	<0.0004	<0.0004	0.002	<0.00018
RRima-3	<0.0006	<0.0004	<0.0004	<0.001	0.00027
RRima-4	0.0062	<0.0004	0.0025	0.005	<0.00018
RRima-5	0.0060	<0.0004	<0.0004	<0.001	<0.00018
RRima-6	0.0035	<0.0004	<0.0004	<0.001	<0.00018
RRima-7	0.0048	<0.0004	<0.0004	<0.001	<0.00018
RRima-8	0.0031	<0.0004	<0.0004	0.002	0.002
RRima-9	0.0034	<0.0004	<0.0004	0.001	0.002
RRima-10	0.003	<0.0004	<0.0004	0.001	0.002
RRima-11	0.027	<0.0004	<0.0004	0.001	0.002
RRima-12	0.0036	<0.0004	0.0011	0.001	S/D
RRima-13	0.0049	<0.0004	<0.0004	<0.001	0.005
ECA AGUA	**0.003**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 19. Tendencia de Cadmio



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos pertenecientes al periodo 2012 – 2016, en el cual se observa una tendencia uniforme de inicio a fin, salvo para el periodo 2012, donde se obtuvo un resultado muy elevado en la estación 11. Se pudo observar que en el año 2012 (mayoría de las estaciones) y en los años 2014 (zona alta) y 2016 (zona baja) hubo estaciones que superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 0.003 mg/L.

2.3.5. Cobre

Se muestran los resultados de Cobre en el siguiente cuadro:

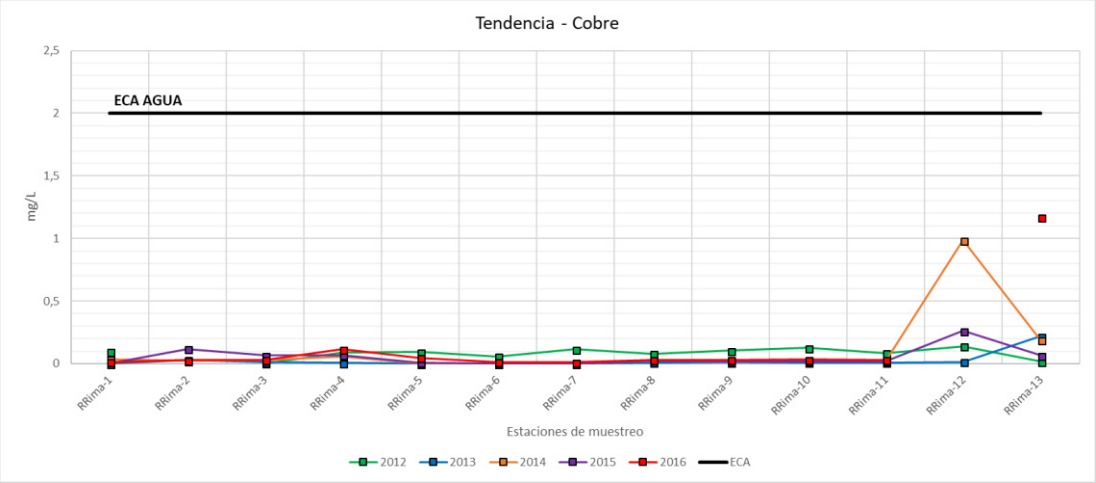
Cuadro 22. Cobre

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	0.0960	0.0031	0.0351	<0.002	0.015
RRima-2	S/D	0.0298	0.0227	0.118	0.028
RRima-3	<0.003	0.0119	0.0280	0.066	0.030
RRima-4	0.0870	0.0064	0.0574	0.068	0.115
RRima-5	0.0930	0.0023	0.0025	0.008	0.047
RRima-6	0.0590	0.0017	0.0011	0.003	0.016
RRima-7	0.1160	0.0027	0.0009	0.003	0.012
RRima-8	0.0810	0.0096	0.0280	0.025	0.030
RRima-9	0.1050	0.0118	0.0242	0.017	0.030
RRima-10	0.1260	0.0085	0.0225	0.021	0.033
RRima-11	0.0850	0.0082	0.0213	0.020	0.030
RRima-12	0.1410	0.0152	0.9850	0.261	S/D
RRima-13	0.0185	0.2193	0.1899	0.066	1.171
ECA AGUA	**2**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 20. Tendencia de Cobre



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se puede observar una tendencia casi uniforme a lo largo de las estaciones identificadas con pequeñas variaciones, pero manteniendo una

constante en general; sin embargo, se observa que para el periodo 2016 se registró la mayor elevación para la estación 13, con la cual se mantenía una tendencia de ligera elevación para el parámetro analizado. Se pudo observar que ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 2 mg/L.

2.3.6. Cobalto

Se muestran los resultados de Cobalto en el siguiente cuadro:

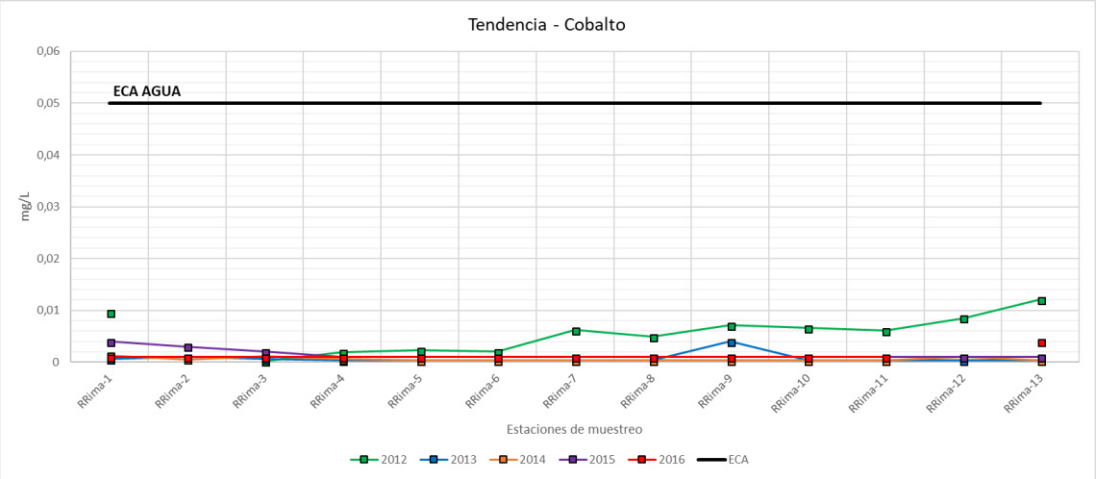
Cuadro 23. Cobalto

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	0.0096	0.0006	0.0013	0.004	<0.001
RRima-2	S/D	0.001	0.0005	0.003	<0.001
RRima-3	<0.00022	0.0006	0.0012	0.002	<0.001
RRima-4	0.0019	<0.0003	0.0006	<0.001	<0.001
RRima-5	0.0023	<0.0003	<0.0003	<0.001	<0.001
RRima-6	0.0020	<0.0003	<0.0003	<0.001	<0.001
RRima-7	0.0062	<0.0003	<0.0003	<0.001	<0.001
RRima-8	0.0049	<0.0003	<0.0003	<0.001	<0.001
RRima-9	0.0071	0.0040	<0.0003	<0.001	<0.001
RRima-10	0.0066	<0.0003	<0.0003	<0.001	<0.001
RRima-11	0.0061	<0.0003	<0.0003	<0.001	<0.001
RRima-12	0.0085	<0.0003	0.0010	0.001	S/D
RRima-13	0.01206	0.0004	<0.0003	<0.001	0.004
ECA AGUA	**0.05**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 21. Tendencia de Cobalto



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se observa tendencias un tanto variadas en relación a diferentes periodos, de las cuales se caracteriza el periodo 2012 con la mayor tendencia de elevación y el periodo 2013 y 2016, el cual se manifiesta como el más estable y lineal de este registro. Se pudo observar que ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.3 Subcat. D1), que establece un máximo de 0.05 mg/L.

2.3.7. Cromo

Se muestran los resultados de Cromo en el siguiente cuadro:

Cuadro 24. Cromo

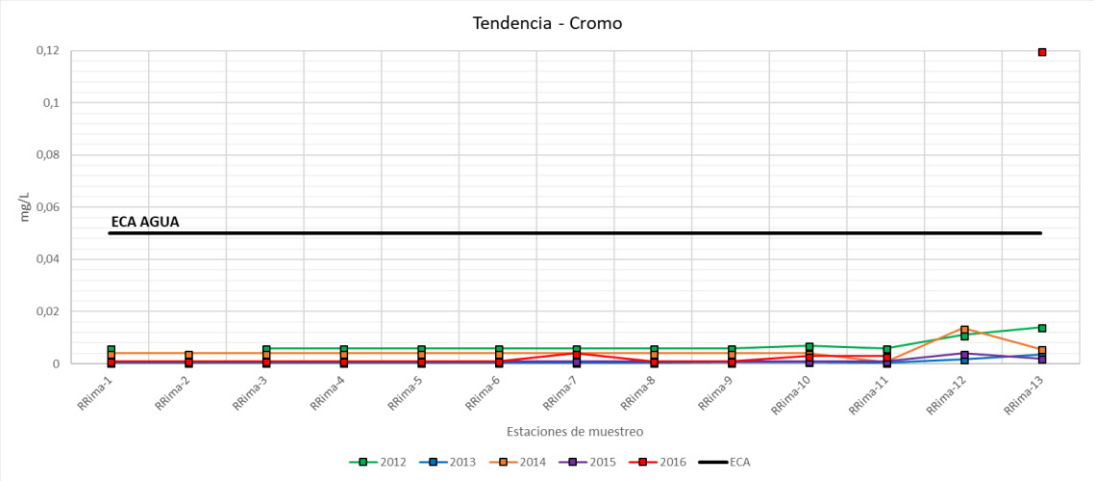
Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	0.006	<0.0004	<0.004	<0.001	<0.001
RRima-2	S/D	<0.0004	<0.004	<0.001	<0.001
RRima-3	<0.006	<0.0004	<0.004	<0.001	<0.001
RRima-4	<0.006	<0.0004	<0.004	<0.001	0.001
RRima-5	<0.006	<0.0004	<0.004	<0.001	<0.001
RRima-6	<0.006	<0.0004	<0.004	<0.001	<0.001
RRima-7	0.006	<0.0004	<0.004	<0.001	0.004
RRima-8	<0.006	<0.0004	<0.004	<0.001	<0.001
RRima-9	<0.006	0.0006	<0.004	<0.001	<0.001
RRima-10	0.007	0.0007	<0.004	<0.001	0.003
RRima-11	<0.006	0.0004	0.0007	<0.001	0.003
RRima-12	0.011	0.0018	0.0136	0.004	S/D

RRima-13	0.014	0.0036	0.0057	0.002	0.12
ECA AGUA	**0.05**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 22. Tendencia de Cromo



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se observa una tendencia estable en la mayoría de los periodos. Cabe resaltar que para todos los años se observa una tendencia uniforme para la concentración del parámetro analizado, cuyo mayor valor fue registrado para el año 2016 y la mayor variación con un pico elevado característico para el periodo 2014. Se pudo observar que ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 0.05 mg/L a excepción de una estación (RRima-13) en el año 2016.

2.3.8. Hierro

Se muestran los resultados de Hierro en el siguiente cuadro:

Cuadro 25. Hierro

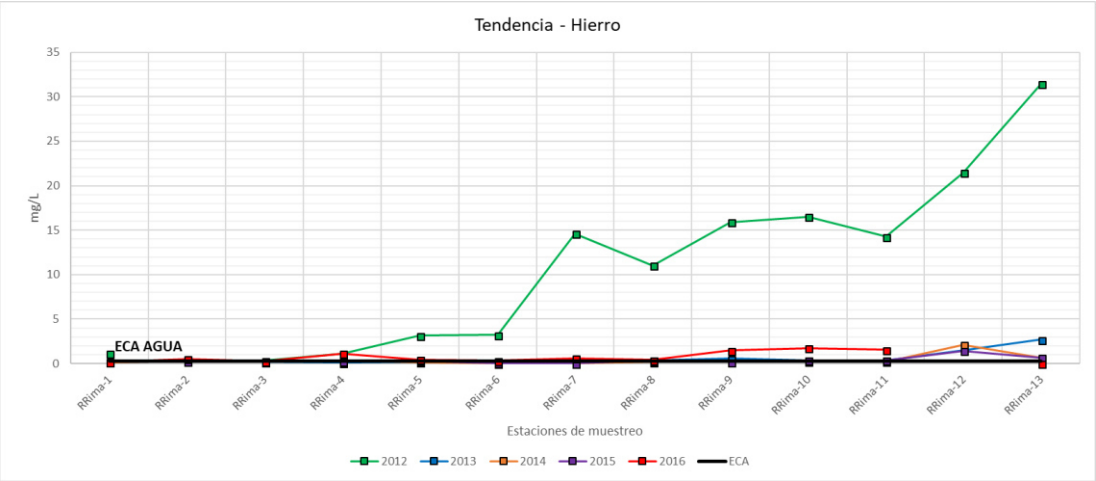
Estación de monitoreo	**Concentración (mg/L)**				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	1.176	0.1339	0.1517	0.24	0.168
RRima-2	S/D	0.2532	0.2921	0.21	0.514
RRima-3	0.324	0.1561	0.2352	0.168	0.245
RRima-4	1.084	0.1072	0.3247	0.266	1.118

RRima-5	3.16	0.1615	0.1485	0.285	0.4295
RRima-6	3.202	0.0063	0.0156	0.053	0.3067
RRima-7	14.6	0.0274	0.0233	0.035	0.5883
RRima-8	11.02	0.3699	0.1878	0.335	0.390
RRima-9	15.92	0.5523	0.1777	0.173	1.456
RRima-10	16.53	0.3435	0.2037	0.359	1.716
RRima-11	14.26	0.3734	0.2094	0.362	1.543
RRima-12	21.47	1.5116	2.1306	1.432	S/D
RRima-13	31.44	2.6771	0.6145	0.678	<0.003
ECA AGUA	**0.3**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 23. Tendencia de Hierro



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se muestra una tendencia general de estabilidad con pequeñas variaciones a lo largo del trayecto del río, siendo excepción el año 2012 en el cual se observa la mayor tendencia de elevación para la concentración de este elemento. Se pudo observar que en los años 2012 y 2016 (zona alta, media y baja) y en menor medida en los años 2013 y 2014 hubo estaciones que superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 0.3 mg/L.

2.3.9. Manganeso

Se muestran los resultados de Manganeso en el siguiente cuadro:

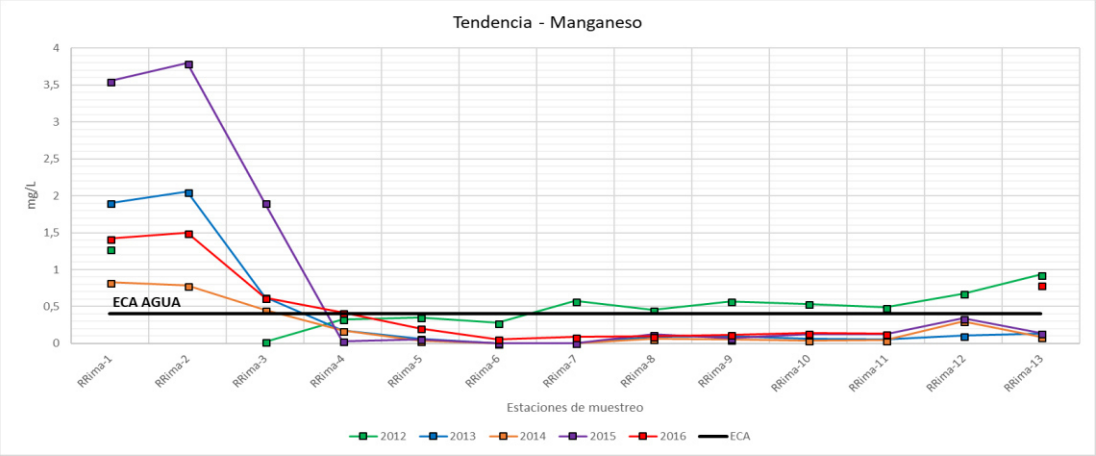
Cuadro 26. Manganeso

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	1.2810	1.9013	0.8265	3.551	1.419
RRima-2	S/D	2.057	0.7839	3.798	1.497
RRima-3	0.0231	0.6285	0.4536	1.904	0.62
RRima-4	0.3250	0.1723	0.1753	0.032	0.419
RRima-5	0.3530	0.0648	0.0358	0.059	0.2029
RRima-6	0.2770	0.0016	0.0024	0.006	0.0569
RRima-7	0.5730	0.0035	0.0027	0.006	0.0884
RRima-8	0.4540	0.0853	0.0591	0.122	0.098
RRima-9	0.5700	0.0957	0.0520	0.069	0.120
RRima-10	0.5350	0.0663	0.0412	0.122	0.139
RRima-11	0.4890	0.0584	0.0441	0.123	0.132
RRima-12	0.6740	0.1029	0.3016	0.340	S/D
RRima-13	0.9303	0.1371	0.087	0.139	0.794
ECA AGUA	**0.4**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 24. Tendencia de Manganeso



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se puede observar una tendencia de estabilidad hasta concentraciones bajas a lo largo de las estaciones identificadas. Cabe resaltar que para todos los periodos de registro se obtuvo un registro en el cual se visualiza la

disminución progresiva de concentración desde la estación 1 hasta la 4, manteniendo de ahí en adelante la tendencia de homogeneidad hasta el final del trayecto. Finalmente, se observa que para el periodo 2012 se observa una tendencia estable pero más elevada que las otras hasta la última estación. Se pudo observar en los años (zona alta) y en el año 2012 (zona alta, media y baja) hubo estaciones que superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 0.4 mg/L.

2.3.10. Plomo

Se muestran los resultados de Plomo en el siguiente cuadro:

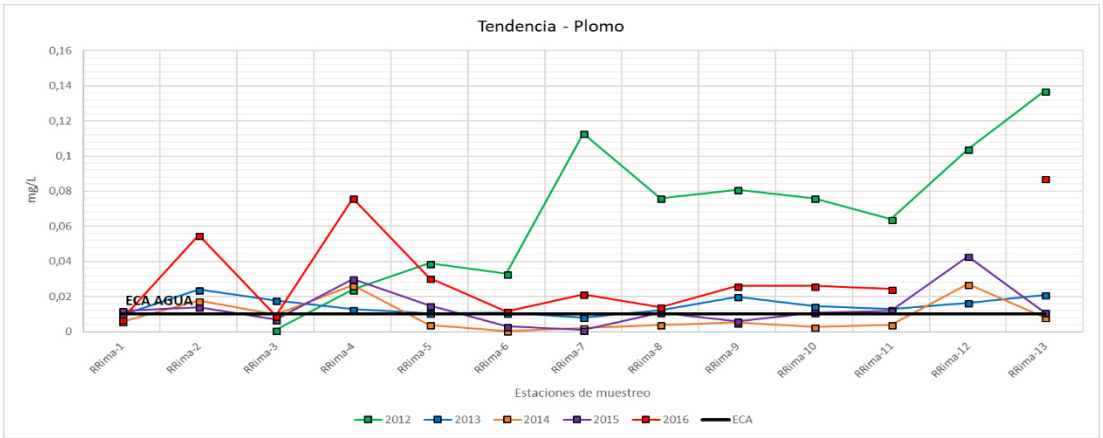
Cuadro 27. Plomo

Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	0.011	0.0096	0.0057	0.012	0.0070
RRima-2	S/D	0.0239	0.0177	0.014	0.0550
RRima-3	<0.001	0.0178	0.0097	0.007	0.0090
RRima-4	0.024	0.0129	0.0265	0.030	0.0760
RRima-5	0.039	0.0105	0.0039	0.015	0.0307
RRima-6	0.033	0.0108	<0.0004	0.003	0.0117
RRima-7	0.113	0.0081	0.0022	<0.001	0.0214
RRima-8	0.076	0.0122	0.0040	0.011	0.0140
RRima-9	0.081	0.0200	0.0052	0.006	0.0260
RRima-10	0.076	0.0146	0.0028	0.011	0.0260
RRima-11	0.064	0.0128	0.0040	0.012	0.0243
RRima-12	0.104	0.0165	0.0271	0.043	S/D
RRima-13	0.137	0.0211	0.0081	0.011	0.0872
ECA AGUA	**0.01**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 25. Tendencia de Plomo



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se puede observar una tendencia variable para los años mencionados, en los cuales se tiene la mayor tendencia de elevación para el año 2012; sin embargo, también se observan variaciones en los demás años, los cuales conllevan una tendencia próxima a la estabilidad. Se pudo observar que la mayoría de estaciones superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 0.01 mg/L.

2.3.11. Zinc

Se muestran los resultados de Zinc en el siguiente cuadro:

Cuadro 28. Zinc

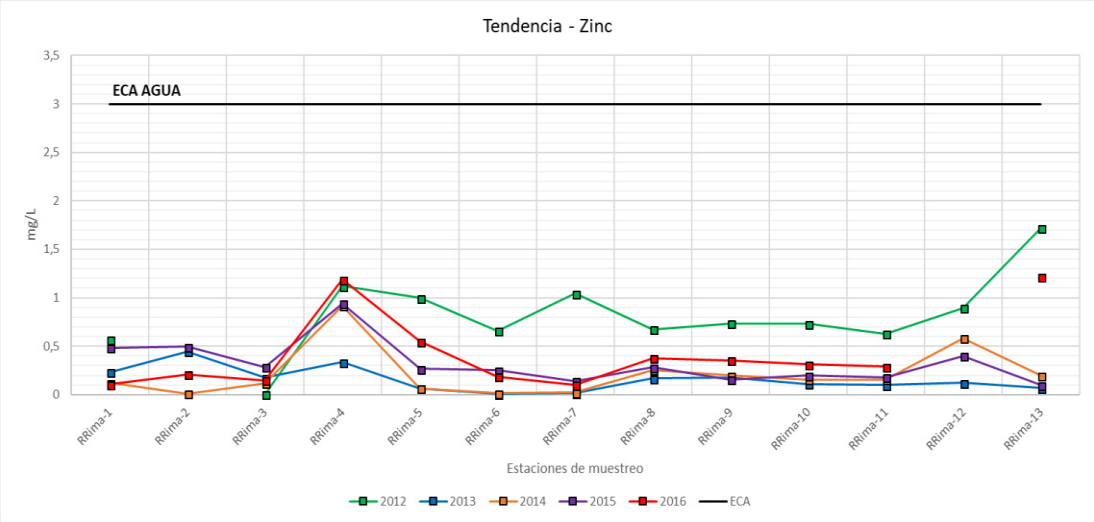
Estación de monitoreo	Concentración (mg/L)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	0.566	0.2343	0.1223	0.484	0.108
RRima-2	S/D	0.4461	0.0117	0.494	0.211
RRima-3	<0.003	0.1739	0.1191	0.285	0.15
RRima-4	1.121	0.3366	0.9189	0.941	1.188
RRima-5	0.999	0.0642	0.0637	0.266	0.5487
RRima-6	0.661	0.0071	0.0158	0.252	0.188
RRima-7	1.044	0.0163	0.0213	0.142	0.1043
RRima-8	0.676	0.1682	0.2563	0.282	0.3757
RRima-9	0.734	0.1792	0.1994	0.156	0.3557
RRima-10	0.732	0.1112	0.1562	0.2	0.314
RRima-11	0.629	0.0979	0.1575	0.18	0.289
RRima-12	0.894	0.122	0.5835	0.399	S/D

RRima-13	1.717	0.0675	0.199	0.0989	1.221
ECA AGUA	**3**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

De acuerdo con los datos mostrados, se puede elaborar el siguiente gráfico para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 26. Tendencia de Zinc



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico nos muestra un registro de datos para el periodo 2012 – 2016, en el cual se puede observar variaciones a lo largo de las estaciones identificadas, con tendencias finales de baja concentración; sin embargo, se visualiza que para el año 2012, se registró la mayor tendencia en concentración y elevación del elemento analizado, de la misma forma para los demás periodos se obtuvo el mayor pico para la estación 13. Se pudo observar que ninguna estación superó el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), que establece un máximo de 3 mg/L.

2.4. Parámetros microbiológicos

Este subcapítulo comprende el análisis de un solo parámetro: Coliformes Termotolerantes.

2.4.1. Coliformes Termotolerantes

Se muestran los resultados de Coliformes Termotolerantes en el siguiente cuadro:

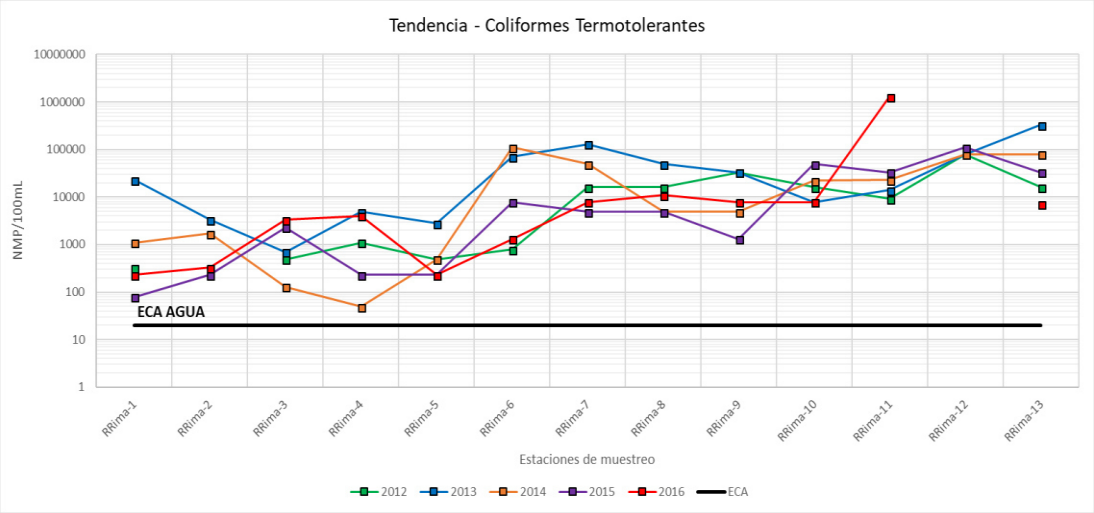
Cuadro 29. Coliformes Termotolerantes

Estación de monitoreo	Concentración (NMP/ 100 mL)				
	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
RRima-1	330	23000	1100	79	230
RRima-2	S/D	3300	1700	230	330
RRima-3	490	700	130	2300	3300
RRima-4	1100	4900	49	230	4000
RRima-5	490	2800	490	230	230
RRima-6	790	70000	110000	7900	1300
RRima-7	16000	130000	49000	4900	7900
RRima-8	16000	49000	4900	4900	11000
RRima-9	33000	33000	4900	1300	7900
RRima-10	16000	7900	22000	49000	7900
RRima-11	9200	14000	23000	33000	1300000
RRima-12	79000	79000	79000	110000	S/D
RRima-13	16000	330000	79000	33000	7000
ECA AGUA	**20**				

***Fuente*. Datos tomados de Autoridad Nacional del Agua (2016).**

Con la información recopilada, también se puede elaborar el siguiente gráfico, a escala logarítmica, para brindar una mejor interpretación de la información:

Gráfico 27. Tendencia de Coliformes Termotolerantes



***Fuente*. Elaboración propia.**

<u>Interpretación:</u>

El gráfico se elaboró a escala logarítmica y muestra una clara tendencia al alza desde la primera estación hasta la última en todos los años recopilados. En todas las estaciones se reportan valores altos, lo que refleja una constante contaminación por aguas residuales de origen doméstico no tratadas a lo largo del trayecto del río Rímac. Se pudo observar que todas las estaciones superaron el ECA – AGUA (Cat.1 Subcat. A1), de 20 NMP/100mL.